

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLVIII.



ANNALEN
DER
P H Y S I K
UND
C H E M I E.

SECHSTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

ACHTER BAND.

NEBST ACHT FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1876.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIIUS BARTH.

ANALYSIS

PHYSIK

CHEMIE

VERGLEICHENDE PHYSIK UND CHEMIE

VON J. C. F. W. WILHELM

PROFESSOR DER PHYSIK UND CHEMIE AN DER UNIVERSITÄT ZÜRICH



ZÜRICH, 1876

VERLAG VON JOHANNES AMMANN & CO.

Inhalt

des Bandes CLVIII der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

	Seite
I. Zur Kenntnifs der dielektrischen Polarisation; von E. Root	1
II. Ueber die Gesetze des Durchgangs der Elektrizität durch Gase; von G. Wiedemann	35
III. Ueber die specifische Wärme des Cers, Lanthans und Didyms; von W. F. Hillebrand	71
IV. Versuche über die im ungeschlossenen Kreise durch Bewegung inducirten elektromotorischen Kräfte; von H. Helmholtz.	87
V. Zur Widerlegung des elementaren Potentialgesetzes von Helmholtz durch elektrodynamische Versuche mit geschlossenen Strömen; von F. Zöllner	106
VI. Ueber einige Formen des auf galvanischem Wege erhaltenen Silbers; von M. Kirmis	121
VII. Ueber die Schwingungs-Erregung und die Bewegung der Luftsäule in offenen und gedeckten Pfeifen; von F. W. Sonreck	129
VIII. Bemerkung über die galvanische Ausdehnung; von E. Edlund	148
IX. Beziehung zwischen dem mechanischen Wärme-Aequivalent und den Moleculargewichten; von Klingel	160
X. Ueber irreciproke Leitung elektrischer Ströme; von A. Christiani	163

VIII

	Seite
VI. Zur Geschichte des Weber'schen Gesetzes; von F. Zöllner	472
VII. Notizen zur Geschichte des Radiometers; von G. Berthold	483
VIII. Bericht, betreffend Versuche über die elektromagnetische Wirkung elektrischer Convection; von H. Helmholtz	487
IX. Gallium, ein neues Metall; von Lecoq de Boisbaudran	494
X. Vorlesungsversuch; von M. Rosenfeld	495
(Geschlossen am 31. Juli 1876.)	

Viertes Stück.

I. Ueber die physikalischen Beziehungen zwischen hydrodynamischen und elektrodynamischen Erscheinungen; von F. Zöllner	497
II. Ueber die Diffusion der Gase durch absorbirende Substanzen; v. Wroblewsky	539
III. Apparat zur Demonstration der Reibung in einem sehr verdünnten Gase (Vacuum); von A. Kundt	568
IV. Ueber das Radiometer von Crookes; von R. Finkener	572
V. Ueber eine magneto-elektrische Maschine mit continuirlichem Strom; von Gramme	595
VI. Untersuchung der Gramme'schen elektrodynamischen Maschine; von E. Hagenbach	599
VII. Eine neue Methode der Farbenmischung; von W. v. Bezold	606
VIII. Bemerkung zu den von Hrn. Klingel aufgestellten Sätzen; von H. L. Bauer	612
IX. Ueber einen Apparat zur Combination von aufeinander senkrechten Schwingungen; von E. Stöhrer jun.	615
X. Verbesserter Giftheber; von K. Antolik	618
XI. Zur Geschichte der Fluorescenz; von G. Berthold	620
XII. Ueber den Einfluß der Temperatur auf das galvanische Leitungsvermögen des Tellurs; von F. Exner	625
XIII. Neues Hydrometer; von J. Sedlacek	650

XIV.
XV.

XVI.

XVII.

Taf. I.
S. 8;
Taf. II.
Fig.
Taf. III.
—
Fig.
Taf. IV.
Fig.
Fig.
S.
S.
Taf. V.
Taf. VI.
Taf. VII.
S.
Fig.
Taf. VI.
—

	Seite
XIV. Ueber die kleinste Ablenkung im Prisma; von F. W. Berg	651
XV. Ueber das elektrische Leitungsvermögen des Braunsteins und der Kohle; von W. Beetz	653
XVI. Entgegnung auf den Artikel des Hrn. Holtz bezüglich Elektromaschinen von Ebonit; von J. C. Schlösser	656
XVII. Nachschrift zu dem Aufsatz von A. Kundt	660

(Geschlossen am 31. Juli 1876.)

Nachweis zu den Figurentafeln.

- Taf. I. — Elihu Root, Fig. 1, S. 4; Fig. 2, S. 6; Fig. 3, S. 7; Fig. 4, S. 8; Fig. 5, S. 10; Fig. 6, S. 12.
- Taf. II. — G. Wiedemann, Fig. 1, S. 38; Fig. 2, S. 41; Fig. 3, S. 70; Fig. 4, S. 252; Fig. 5, S. 253; Fig. 6, S. 254. Die Curven S. 51.
- Taf. III. — Zöllner, Fig. 1 u. 2, S. 117. — Silow, Fig. 3 u. 4, S. 309; — Peters, Fig. 5 bis 15, S. 175. — Sonreck, Fig. 16, S. 144. Fig. 17, S. 146.
- Taf. IV. — Groth, Fig. 1, S. 217; Fig. 2, S. 218; Fig. 3 u. 4, S. 220; Fig. 5a bis 5c, S. 221; Fig. 6, S. 221; Fig. 7, S. 223. — Bodewig Fig. 8, S. 236; Fig. 9 u. 10, S. 237; Fig. 11, S. 239; Fig. 12 u. 13, S. 240; Fig. 14, S. 141; Fig. 15, S. 244. — Arzuni, Fig. 16 u. 17, S. 249; Fig. 18, S. 250.
- Taf. V. — G. vom Rath, Fig. 1 bis 22, S. 425.
- Taf. VI. — Zöllner, Fig. 1 bis 4, S. 500 u. 501.
- Taf. VII. — Zöllner, Fig. 1 u. 2, S. 504 u. 505; Fig. 3, S. 507; Fig. 4, S. 510; Fig. 5, S. 512; Fig. 6, S. 513; Fig. 7, S. 516; Fig. 8, S. 517; Fig. 9, S. 518; Fig. 10, S. 519.
- Taf. VIII. — S. v. Wroblewski, Fig. 1, S. 543. — Nebenfigur S. 546. — A. Kundt, Fig. 2, S. 570. — W. v. Bezold, Fig. 3, S. 607.

Berichtigungen

zur Abhandlung im Bd. 158: „Ueber die specifische Wärme des Cers,
Lanthans und Didyms“ von Dr. W. F. Hillebrand.

S. 75 Z. 4 v. o. lies: 0,04657 statt: 0,04557

S. 75 Z. 1 v. u. lies: 1,0460 statt: 1,0640

S. 76 Z. 2 v. o. lies: 0,0044 Grm. Eisenoxyd und 0,0019 Grm. Thon-
erde statt: 0,0044 Grm. Thonerde

S. 78 Z. 10 v. u. lies: 6,049 statt: 4,049

S. 81 Z. 10 v. o. lies: 1,0280 statt: 1,0180

S. 84 Z. 5 v. u. lies: 99° 93 statt: 94° 83

S. 85 Z. 4 v. o. lies: 0,9768 statt: 0,8768

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLVIII.

**I. Zur Kenntniss der dielektrischen Polarisation;
von Dr. Elihu Root aus Massachusetts**

(Auszug aus seiner Dissertation (Berlin 1876)).

I.

Faraday's Theorie der Elektricität.

§. 1.

In seinen unsterblichen Experimental-Untersuchungen hat Faraday eine höchst merkwürdige Theorie der Elektricität aufgestellt.

Die wesentlichsten Punkte dieser Theorie lassen sich in den folgenden kurzen Sätzen zusammenstellen:

Die Rolle eines ersten, wesentlichen, fundamentalen, elektrischen Princip¹⁾ spiele eine eigenthümliche, dielektrische Polarisation; das Substratum dieser Polarisation seyen die Molecüle der Materie; alle Molecüle seyen vollkommene Leiter²⁾ der Elektricität; das Wesen³⁾ der Polarisation bestehe in einer, innerhalb der Molecüle vollzogenen Vertheilung der beiden Elektricitätsarten; der Polarisationszustand sey daher ein abnormer, von einer elektrischen Spannung⁴⁾ begleitet; es gebe kein Polarisationsmaximum, vielmehr eine kritische alles zerstörende Polarisationsgränze⁵⁾; die Polarisation trete augenblick-

1) Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, Vol. I, al. 1162. (Ann. Bd. 46, S. 2).

2) Ebendas. al. 1169. (Ann. Bd. 46, S. 8.)

3) Ebendas. al. 1178. (Ann. Bd. 46, S. 11.)

4) Ebendas. al. 1671. (Ann. Ergzbd. I), S. 250.)

5) Ebendas. al. 1410. (Ann. Bd. 47, S. 531.)

lich ¹⁾ auf; die Polarisationsfähigkeit sey specifischer Natur ²⁾ und eine ganz allgemeine Eigenschaft ³⁾ der Materie.

Der Polarisation folge immer eine zweite elektrische Wirkung, die Leitung ⁴⁾; der isolirende Raum gestatte immer einen specifischen Austausch beider Elektricitätsarten zwischen den polarisirten Molecülen.

Polarisation und Leitung stehen zu einander in einem umgekehrten Verhältniß ⁵⁾, denn Polarisation sey nichts anderes als das, was man gewöhnlich unter dem Namen Widerstand ⁶⁾ verstehe.

Das Wirkungsfeld ⁷⁾ der elektrischen Kräfte sey ein unendlich kleines; die scheinbare Ausdehnung desselben bis ins Unendliche sey nur aus einer Fortpflanzung der Kraftwirkung von Molecülen zu Molecülen entstanden; die Fernwirkung löse sich jedoch nicht in eine unmittelbare Berührungswirkung auf, sondern nur in eine Fernwirkung niederer Ordnung ⁸⁾.

§. 2.

In der von ihm selbst entdeckten Thatsache, daß die Capacität eines Condensators nicht allein von der Gestalt und dem Abstände der leitenden Platten, sondern auch von der Beschaffenheit der isolirenden Zwischenschicht abhängt, glaubte Faraday mit Recht einen unzweideutigen Beweis für seine, diese Thatsache voraussagende Theorie geliefert zu haben. Zwar hatte er bei seinen sorgfältigen Untersuchungen auch ein specifisches Eindringen der Elektricitäten in das Innere der starren Isolatoren alsbald bemerkt, doch zeigte er, daß erstens die beiden specifischen Vermögen in keinem directen Verhältniß zu einander ständen

1) Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, Vol. I, al. 1670.

2) Ebendas. al. 1167. (Ann. Bd. 46, S. 5.)

3) Ebendas. al. 1669. (Ann. Ergzbd. I, S. 250.)

4) Ebendas. al. 1675. (Ann. Ergzbd. I, S. 251.)

5) Ebendas. al. 1328. (Ann. Bd. 47, S. 37.)

6) Ebendas. al. 1328.

7) Ebendas. al. 1677. (Ann. Ergzbd. I, S. 251.)

8) Ebendas. al. 1164 (Anmerkung). (Ann. Bd. 46, S. 3.)

und dafs zweitens, während das Eindringen einige Zeit erforderte, die Vertheilung momentan einträte ¹⁾).

Siemens ²⁾, der eine stets constante und unerschöpfliche Elektrizitätsquelle benutzte und mittelst seiner bekannten Wippe die Dauer der Einwirkung genau controliren konnte, fand, dafs die dielektrische Capacität unabhängig von der elektromotorischen Kraft der Batterie wäre. Da aber die Tiefe des etwaigen Eindringens der Elektrizität in der durch die Wippe gegebenen Zeit jedenfalls von der Gröfse der wirkenden Kraft abhängig seyn mußte, so liefs sich hieraus derselbe Schluss ziehen, dafs in ihr nicht der Grund der beobachteten Capacitäts-Aenderung zu suchen sey.

Ebenfalls einen Beweis für die dielektrische Polarisation hat Boltzmann ³⁾ geliefert. Er fand nämlich, dafs eine ursprünglich unelektrische, isolirende Schwefelkugel, in die Nähe einer influencirenden Metallkugel gebracht, von der letzteren genau gleich stark angezogen wurde, gleichviel ob die Metallkugel während des ganzen, über eine Minute dauernden Versuches immer positiv oder immer negativ oder abwechselnd $\frac{1}{200}$ Secunde positiv, die nächste $\frac{1}{200}$ Secunde negativ, dann wieder $\frac{1}{200}$ Secunde positiv geladen wurde usw., sobald nur die Mengen der positiven und negativen Elektrizität bei der dauernden und bei der alternirenden Ladung dieselben waren. Eine solche Anziehung könnte nur von einer momentan sich herstellenden, dielektrischen Polarisation, nicht aber daher rühren, dafs sich die Kugel, weil sie Spuren von Leitungsvermögen besäfsse, durch Influenz lüde, denn im letzteren Falle hätte die Anziehung bei der alternirenden Ladung vielmal kleiner als bei der dauernden seyn müssen.

Trotz alledem bezweifelt man noch die Thatsache der Polarisation. Der Gründe für diese besonders hartnäckige

1) Faraday, *Exp. Res. al.* 1251, 1248, 1269, 1277. (Ann. Bd. 46, S. 553 und ff.)

2) Siemens, *Pogg. Ann.* Bd. CII.

3) Boltzmann, *Wiener Bericht*, Bd. LXVIII. (Ann. Bd. 153, S. 525.)

Ungläubigkeit giebt es, wie ich vermuthe, zwei: erstens will man überhaupt nichts von einer Theorie hören, welche einen Artikel des physikalischen Glaubens zu beseitigen drohe, man hält fest an einer wirklichen Fernwirkung; eine Beseitigung dieses Bedenkens gehört nicht hierher; zweitens aber hat man bisher die Leitung nie besonders berücksichtigt, sie ist deshalb immer ein unbekannter Factor in den Resultaten geblieben.

§. 3.

Als nothwendige Vorbereitung zu einer völlig vorwurfsfreien Prüfung der Theorie wird ein dielektrisches Feld hergestellt werden müssen, worin die wirkende Kraft, der Richtung nach, sich genau umkehrt und zwar periodisch und beliebig oft, aber der absoluten GröÙe nach, sich nur sehr langsam und stetig mit der Zeit ändert.

Um ein *gleichartiges* Feld zu gewinnen, habe ich einen Condensator construiren lassen, welchen Fig. 1, Taf. I in $\frac{1}{4}$ der natürlichen GröÙe veranschaulichen soll. In den Kanten eines 4^{mm} dicken, 3^{cm} breiten Hartgummirahmens sind zwei, möglichst eben abgeschliffene Messingplatten durch Schrauben befestigt. Die beiden Platten sind inwendig mit mechanischer Genauigkeit¹⁾ einander parallel gestellt. Der Rahmen, welcher besonders dazu dient, das Feld von äußeren Luftströmungen abzuschließen, ist an vier, symmetrisch von einander entfernten Stellen mit kreisrunden Oeffnungen versehen; in der einen Oeffnung ist eine Glasröhre von 1^{cm} Durchmesser und 1^m Höhe eingeschraubt, an deren oberm Ende sich ein zum Aufwickeln des Concofadens dienender Aufsatz befindet; das Fadenloch in demselben ist möglichst eng gemacht; von den drei übrigen Oeffnungen dienen die beiden horizontalen, durch Spiegelglasplatten verschlossenen, 18^{mm} weiten, als Fenster zur Beobachtung; während die dritte, in der Figur nicht sichtbare, nur zum Einhängen des Körpers dient, letztere

1) Alle folgenden Apparate, ausgenommen der von Schultz gemachte „Inductions-Commutator“, wurden von dem Mechaniker R. Vofs sorgfältigst verfertigt.

Oeffnung ist durch einen Hartgummipfropf verschlossen, auf welchem eine kleine, 2^{mm} tiefe Glasschale aufgekittet ist. Der ganze Apparat wird von zwei horizontalen, in den äußeren Fortsätzen der Messingplatten eingeschraubten Hartgummistäbchen getragen, die übrigens auf zwei Messingsäulchen befestigt sind. Das Fußbrett steht auf vier Füßen mit Stellschrauben und ist auf der, der unteren Oeffnung im Hartgummirahmen gegenüberliegenden Stelle durchbohrt. Das ganz symmetrische, cylindrische, elektrische Feld hat einen Durchmesser von 200^{mm} und eine Axiallänge von 25,40^{mm}. Daß nun, wenn die beiden Condensatorplatten auf irgend welche Potentiale z. B. auf die gleichnamige *A* und *B* gebracht sind (vorausgesetzt wir abstrahiren von dem Einfluß des Randes und des Hartgummiringes), daß wir dann wirklich ein gleichartiges Feld haben, zeigt eine sehr einfache Ueberlegung. Wählen wir nämlich den Mittelpunkt des Feldes zum Coordinatenanfang und richten wir die *x*-Axe senkrecht gegen die Platten, so reducirt sich die Laplace'sche Gleichung auf die Form

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = 0.$$

Hieraus gewinnen wir durch Integration sogleich

$$V = \frac{B-A}{c} \cdot x + \frac{B+A}{2}$$

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{A-B}{c}; \quad \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial z} = 0;$$

wo *c* die Entfernung der Platten bedeutet. Hiernach ist die Kraft *F* von den Coordinaten unabhängig, und ihre Richtung gegen die Platten normal.

Zu den Vorbereitungen gehört aber zweitens die Herstellung zweier entgegengesetzter, mit voller Sicherheit und durchaus constanter Geschwindigkeit commutirender, elektrischer Pole von *genau derselben* Stärke. Ich will keine Zeit damit verschwenden, um etwa nur zu zeigen, mit welchem Aufwand von Geduld und Geld ich gesucht habe, dieser Forderung gerecht zu werden.

Als ein sehr empfindliches Criterium diente mir hierbei

eine kreisrunde, 10^{mm} breite, 6^{mm} dicke Aragonitscheibe, welche im Condensator an einem einzelnen Coconfaden hing. Ich fand nämlich alsbald, daß im elektrischen Felde die Scheibe immer ein Bestreben zeigte, sich axial zu stellen. Für damals war mir die Ursache dieses Verhaltens ganz gleichgültig, denn solange die Schwingungen irgendwie von der Kraft abhängig waren, konnte ich sie zur Beurtheilung der Kraftänderung benutzen. Das Ideal, nach dem ich strebte, war, eine resultirende Richtungskraft zu gewinnen, welche die Scheibe in Schwingungen von logarithmisch abnehmender GröÙe erhalten sollte, bis sie *ganz zur Ruhe* käme. Die Schwingungen wurden mittelst Spiegelung nach der bekannten Gauß'schen Methode beobachtet. Bei der Messung der Schwingungsdauer wurde immer solange gewartet, bis der Ausschlagswinkel auf 10 Minuten gesunken war; dann wurden die 20 folgenden Schwingungen verfolgt; zeigte sich während der ganzen Beobachtung ein noch so kleiner Sprung in der Amplitude, so ward das Resultat *immer* verworfen.

Die gesuchte Commutation der Pole läßt sich durch folgende Apparate ausgezeichnet ausführen.

Der Frictions-Commutator wird durch Fig. 2, Taf. I in $\frac{1}{3}$ der natürlichen GröÙe versinnlicht. Ein Hartgummirad von 5^{cm} Durchmesser ist auf beiden Seiten mit Messingplatten belegt, von denen abwechselnd 32 Platinstiftchen über die Peripherie des Rades übergreifen. Die mittelst drei Gummischrauben fest mit einander befestigten Platten sind mit den beiden von einander isolirten Hälften der in metallenen Lagern laufenden stählernen Axe des Rades verbunden. Die beiden Theile der Axe communiciren durch ihre metallenen Lager mit den Klemmschrauben *A* und *B*. Während die eine Axenhälfte in einer cylindrischen Büchse läuft, paßt eine mit Contremutter versehene in eine feine Spitze auslaufende Schraube in ein Hütchen hinein, mit welchem die andere Axenhälfte endigt. Um der Axe einen möglichst festen Halt zu bieten, sind die Träger derselben dreifüÙig. In der Peripherie des

Hartgummirades zwischen je zwei ganz gleichen 15^{mm} breiten, $2,5^{\text{mm}}$ von einander entfernten Platinstiftchen befinden sich, einer vollkommenen Isolation wegen, kleine, cylindrische Vertiefungen. Gegen die sonst ganz glatt und centrisc abgedrehte Peripherie rollen zwei stählerne, mit den gleichnamigen Klemmschrauben verbundene Rädchen *C* und *D*, die von Mikrometerschrauben getragen werden. Diese Rädchen sind so klein, daß jedes von ihnen auf einmal nur ein Stiftchen berühren kann und so eingestellt, daß das Rad *C* gegen ein Stiftchen der einen Messingplatte in demselben Augenblick rollt, in welchem das Rad *D* ein Stiftchen der anderen Platte berührt; im nächsten Moment ist die Berührung eine umgekehrte. Um eine gute Isolation der Klemmschrauben von einander zu sichern, ist das Fußbrett ganz von Hartgummi gemacht. Die Rotation des Rades wird unter Vermittelung eines durch Hartgummi von der Axe isolirten Zahnrades bewirkt.

Außer den beiden, mit Rädchen versehenen Schrauben gehören zum Apparate auch zwei, statt Rollen, Nähnadeln tragende, sonst aber genau gleiche Schrauben. Letztere eingesetzt, geben dem Commutator den Charakter eines *Funken-Commutators*, einer Benennung, welche er aber auch im anderen Falle wirklich verdient.

Nach dem schon Gesagten wird die Ausführung der Commutation leicht verständlich. Die Klemmschrauben *C* und *D* seyen mit den positiven und negativen Elektrizitätsquellen, *A* und *B* aber mit den beiden Condensatorplatten leitend verbunden. Steht nun das Rad wie in Fig. 3, Taf. I, so geht der positive Strom nach der Rolle *C*, dort springt ein Funken über nach dem Stiftchen *E*, von dort geht der Strom durch die Axe nach *B*, von dort weiter nach einer Condensatorplatte z. B. *A*, geht dann, wie wir später sehen werden, als dielektrischer Strom durch das Dielektricum nach der zweiten Condensatorplatte *B*, kehrt dann zurück nach dem Commutator, geht durch den zweiten Theil der Axe, springt als Funken nach *D* über, von wo er zur negativen Elektrizitätsquelle zurückgelangt.

Wird die Axe gedreht, so springt zunächst der positive Strom von *C* nach *F*, geht von da in der entgegengesetzten Richtung als vorher durch die Leitung zur Condensatorplatte *B*, von dort als dielektrischer Strom nach *A*, von *A* zu *B*, von *B* zu *D* etc. zurück. Dann wiederholt sich die erste Bewegung und so fort.

Den zweiten Commutator werde ich den Influenz-Commutator nennen. Derselbe wird in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Gröfse in Fig. 4, Taf. I wiedergegeben. Auf einem Hartgummifufsbrett stehen drei Messingsäulchen, welche ein dreiarmliges Hartgummistück tragen. Letzteres dient zur Befestigung der unbeweglichen Glasscheibe *AA*, welche von drei, mit Contremutter und Stellfedern versehenen Schrauben getragen wird, sonst aber ganz frei in der Luft hängt. Die Scheibe ist auf der unteren Seite mit zwei, von einander durch eine, ihnen gleich breite, unbedeckte Glasfläche *AA* isolirten Stanniolbelegungen versehen, von denen die eine, *B* mit der Klemmschraube *D*, und die andere *C* mit der Klemmschraube *E* in leitender Verbindung ist. Eine zweite, gleich grofse Scheibe, *FG*, ist auf einer leicht beweglichen Axe befestigt. Diese hat auch zwei, von einander isolirte Stanniolbelegungen *F* und *H* (in der Figur nicht sichtbar) und zwar auf der oberen Seite, welche, bei passender Lage der Axe, die Belegungen *B* und *C* genau decken. Die Belegung *F* steht mit dem oberen Theil der Axe und der Klemmschraube *J*, die Belegung *H* mit dem unteren Theil der Axe und der Klemmschraube *K* in leitender Verbindung. Die Axe selbst besteht natürlich aus zwei von einander getrennten Theilen; Elfenbein darf nicht zur Verbindung derselben gebraucht werden, denn seine Leitung ist grofs genug, um die Wirkung des Apparates zu schwächen; der Zwischentheil besteht daher aus Hartgummi. Auf dem unteren Theil der Axe und wieder durch Hartgummi von derselben isolirt, ist ein Messingring zum Schnurlauf befestigt. Gegen diesen rollt ein stählernes Rädchen *L*, welches mit der Erde in leitende Verbindung zu bringen ist. Diese Vorrichtung wird nothwendig durch die Erfahrung, dafs sonst die durch Reibung des Schnurlaufs

erre
die
Rän
Sch
dur
klei
eina
in
Bel
reib
Sch
ges
Tre
Sec

E
mit
ten
F
Con
Art
Dre
met
Art
zwe
in
nur
ode
tret
A
sol
ein
1^{mm}

ziel
Co
1)

erregte Elektrizität einen störenden Einfluß ausübt. Wenn die bewegliche Scheibe so gestellt wird, daß die inneren Ränder der Belegungen senkrecht gegen die der festen Scheibe sind, so stehen beide Belegungen H und F dadurch mit einander in leitender Verbindung, daß zwei kleine federnde Bogen, I und O , welche von den mit einander verbundenen Säulchen N und M getragen werden, in diesem Augenblick gegen zwei, mit den genannten Belegungen verbundene Projectionen der Scheibenperipherie reiben. Alle isolirende Glasteile des Apparats sind mit Schellack überzogen. Der Commutator in Verbindung gesetzt mit einer Helmholtz'schen elektromagnetischen Treibmaschine¹⁾, liefert leicht 80 Commutationen in der Secunde. Die Wirkung ist folgende:

L , M , N seyen mit der Erde, D sey mit dem positiven, E mit dem negativen Pole einer elektrischen Säule, K mit der Condensatorplatte A , J mit der Platte B in leitender Verbindung. Sind nun F und B parallel, so wird F durch Influenz-Elektrizität erster Art negativ, daher Condensatorplatte B durch Influenz-Elektrizität zweiter Art positiv geladen, ebenso H positiv, Platte A negativ. Dreht man aber die Axe um 90° , so werden, der Symmetrie wegen, gleiche Quantitäten Elektrizität der ersten Art auf F und H erregt, und alle Elektrizitäts-Erregung zweiter Art fällt weg, — die Platten sind ungeladen. Die in dieser Lage eintretende Verbindung mit der Erde sichert nur, daß durch ungleichmäßige, elektrische Zerstreuung oder Isolation keine dauernde Ladung der Platten eintrete —. Dreht man wieder um 90° , so wird H negativ, A positiv, F positiv, B negativ geladen; usw. Natürlich sollten die Scheiben so nahe wie möglich parallel mit einander gestellt werden. Ich stellte sie gewöhnlich in 1^{mm} Entfernung von einander.

Eine andere Form des Commutators war in dieser Beziehung vortheilhafter, auch lieferte sie sechsmal so viel Commutationen in der Secunde. Auf jeder Scheibe waren

1) Exner, Wiener Bericht, Math.-Naturw. Cl. LVIII, Bd II.

nämlich 12 Stanniolsectoren geklebt, die überall 2^{mm} von einander entfernt waren und alternirend mit einander in Verbindung standen. Sie vertraten die vier Stanniol-segmente.

Die Einrichtung des dritten von mir gebrauchten Commutators ist sehr übersichtlich und wird ohne alle Beschreibung durch Fig. 5, Taf. I vollkommen erläutert. Seine charakteristische Eigenthümlichkeit besteht darin, daß die Commutation durch ein *senkrechtes* Eintauchen von vier Platinstiftchen in Quecksilber vollbracht wird. Die Isolation ist auch hier überall durch Hartgummi bewerkstelligt. Die Deckel der Quecksilbergefäße sind eingeschraubt, und die stählernen Büchsen in denselben sind lang genug, um alles Wanken der Stahl-Platin-Stiftchen zu verhindern. Der Apparat kann von der Helmholtz'schen Maschine getrieben werden und liefert am vortheilhaftesten 24 Commutationen in der Secunde.

Es wird nun aber eine Elektrizitätsquelle gefordert, welche die Fähigkeit hat, trotz des zum Gebrauch abfließenden Stromes sich längere Zeit auf einem constanten Potentialniveau zu erhalten; außerdem soll eine zweite Quelle aufgefunden werden, welche dieselbe Eigenschaft der Unveränderlichkeit besitzt, sich aber auf einem Niveau und zwar genau gleicher, doch entgegengesetzter Höhe einstellt.

Vielleicht könnte man glauben, daß ein Rühmkorff'scher Inductionsapparat, in Verbindung mit einer selbstthätigen, z. B. der Stempelman'n'schen Wippe, allen Anforderungen genügen würde. Jedoch kann die Wippe nur in den inducirenden Stromkreis eingeschaltet werden, denn sonst hätte man überhaupt keine sichere Commutation. Der inducirte Strom braucht aber zu seiner Entstehung und Erlöschung ein nicht verschwindend kleines Zeitintervall; daher hört bei einer nur mäßig schnellen Commutation fast alle Wirkung auf. Außerdem ist es mir nicht gelungen, auf diese Weise meine Aragonitscheibe in *regelmäßige* Schwingungen zu bringen.

Bei seinen sorgfältigen Experimenten bediente sich Boltzmann einer Influenzmaschine Töpler'scher Construction, doch fand er, daß die Stärke der beiden Pole nicht genau dieselbe war, periodisch schwankte auch der elektrische „Ueberschuß“ hin und her mit der periodischen Drehung der Maschine. Bei einem solchen Apparat kann außerdem die Polstärke nicht unabhängig seyn von dem zum Gebrauch abfließenden Strome. Eine Holtz'sche Maschine z. B., mit dem Funken-Commutator und den Condensatorplatten verbunden, kann zwischen den letzteren nur dann einen constanten Potentialunterschied behalten, wenn die Rotationsgeschwindigkeit der Maschine und des Commutators von einander abhängig werden. Da aber diese Abhängigkeit eine unbekannte ist, so muß nothwendig beiden eine constante Geschwindigkeit ertheilt werden. Diese Betrachtungen bestätigen sich in der praktischen Ausführung. Doch nur *auf kurze Zeit* konnte ich die Aragonitscheibe in Ruhe erhalten; nach oft wiederholtem Versuch zeigte es sich unmöglich, selbst an günstigen Tagen, eine zuverlässige Reihe von vergleichenden Messungen auszuführen: — eine gutwirkende Holtz'sche Maschine war auch nicht einmal eine *constante Quelle* der Elektricität.

Wir werden daher genöthigt, zu einer Volta'schen Elektricitätsquelle unsere Zuflucht zu nehmen.

Sir William Thomson¹⁾ hat nun die elektromotorische Kraft angegeben, welche nöthig ist, um in gewöhnlicher Luft zwischen zwei Parallelmetallplatten bei verschiedener Entfernung von einander einen Funken hervorzubringen. Danach finden wir, mit Berücksichtigung der von ihm später angegebenen Correctionen, daß wir unter den erwähnten Bedingungen von einer Batterie von 4360 Daniell'schen Elementen nur einen $\frac{1}{4}$ mm langen Funken erwarten dürfen. Auch ist wohl zu bemerken, daß bei kleinen Entfernungen eine immer verhältnißmäßig größere

1) Thomson, *Proc. Roy. Soc.* 1860, oder: *Reprint of papers, Chapters XVIII and XIX.*

Anzahl von Elementen erforderlich ist, und zwar steigt dieses Verhältniß schließlich sehr rasch. Folgende, von Thomson angegebene Tabelle, zu der ich eine dritte, die entsprechende Zahl von Daniell'schen Elementen enthaltende Rubrik hinzugefügt habe, wird dies zeigen.

Funkenlänge in mm	Elektromotorische Kraft in abs ^m Maafse	Zahl der Daniell'schen Elemente
0,025	527,7	358
0,086	267,1	614
0,127	257,0	873
0,127	262,2	890
0,190	224,2	1139
0,281	200,6	1507
0,408	151,5	1649
0,563	144,1	2169
0,584	139,6	2180
0,688	140,8	2590
0,904	134,9	3261
1,056	132,1	3730
1,325	131,0	4641

Es fragt sich zunächst, ob es nicht möglich sey, das Potential einer mäßigen Anzahl von Elementen auf constante Weise zu vergrößern.

In seinem mit Potentialregulator versehenen „*Replenisher*“ hat Thomson ¹⁾ den gesuchten Apparat gegeben. Um mir einen Replenisher ähnlichen Principis zur Verfügung zu stellen, hat Helmholtz mit bekannter Güte den in Fig. 6, Taf. I in $\frac{1}{4}$ Gröfse abgebildeten Apparat construiren lassen. Auf einer senkrecht laufenden Axe ist ein, oben und unten mit segmentförmigen Stanniolbelegungen *a* und *b* versehenes Hartgummirad angebracht. Das Rad läuft zwischen zwei festen Glasscheiben von etwas größerem Durchmesser, welche ihrerseits mittelst Stellschrauben auf drei gegen einander symmetrisch gestellten Messingträgern befestigt sind. Beide Scheiben haben auch segmentförmige Belegungen, von welchen *c* und *d* mit einander in leitender Verbindung stehen, ebenso

1) Thomson, „*Reprint*“, p. 330.

e und *f*. Hat das bewegliche Rad eine solche Stellung, daß die geradlinigen Ränder der drei Belegungen *e*, *a*, *f* parallel stehen, so reibt eine Peripherieprojection *h* der Belegung *a* gegen eine bogenförmige Stahlfeder, wodurch *a* in leitende Verbindung mit der Klemmschraube *j* gebracht wird; zu gleicher Zeit bringt eine ähnliche Vorrichtung auf der entgegengesetzten Seite des Apparats die Theile *c*, *b* und *d* unter einander in Verbindung.

Die erforderliche Isolation wird überall durch Hartgummistückchen *k*, *k* besorgt, ausgenommen zwischen den Belegungen *d* und *f*, und *c* und *e*, wo das mit Schellack überzogene Glas selbst, doch nicht vollkommen isolirt.

Die Art der Wirkung ist folgende. Es sey die Klemmschraube *l* in Verbindung mit der innern Belegung einer Leydener Flasche, deren äußere Belegung mit der Erde verbunden ist, *j* sey mit dem positiven, *m* mit dem negativen Pol einer Batterie verbunden; ohne irgend welchen Unterschied kann dabei *m* auch mit der Erde in Verbindung stehen, was wir annehmen wollen. Reibt nun *h* gegen *i*, so wird die Belegung *a* durch die Batterie geladen und zwar positiv; dreht man nun die Axe, so wird die Capacität des Condensators *e*, *a*, *f* verringert und positive Elektricität wird auf der Belegung *a* frei; bei einer Umdrehung von 180° kommt *a* zwischen *c* und *d* zu liegen und berührt die Feder *n*. Wären nun die Belegungen *c* und *d* gar nicht vorhanden, so würde ein Theil der Ladung von *a* sich auf die innere Belegung der Flasche begeben; bei continuirlicher Umdrehung würde dieser Proceß sich zweimal in jeder einzelnen Rotation wiederholen, bis das Potential der Flasche und der Träger, ohne allen Austausch von Elektricität, dasselbe sey; dann wäre das Maximum-Potential der Flasche eingetreten. Angenommen *C* sey die Maximum- und *C'* die Minimum-Capacität des Condensators *e*, *a*, *f*, ferner *V* das Potential von *i*, *V'* das Potential der Flasche, so hätten wir schließlich $\frac{V}{V'} = \frac{C'}{C}$. Umhüllten aber im Gegentheil *c*

und d die zwischen ihnen gebrachte Belegung vollständig, so würde jedesmal und immerfort *alle* Elektrizität die Träger verlassen müssen, vermöge der Bedingungen des elektrischen Gleichgewichts; unter diesen Umständen müßte bei vollkommener Isolation, V^1 bis ins Unendliche wachsen können. Durch die wirkliche Construction des Apparates werden die Träger zwar nicht vollkommen, doch größtentheils entladen, daher tragen die Belegungen c und d noch dazu bei, das Potential der Fläche zu vermehren. Die elektrische Zerstreung ist immer bedeutend genug, um den Idealwerth des Potentials V^1 selbst bedeutend zu verringern.

In einem Falle, wo Rad und Scheiben eine Entfernung von 1^{mm} hatten, wurde die Vermehrungszahl des Apparats gleich etwa 14 gefunden.

Obwohl die Tabellen XIV und XV zeigen, daß, in Verbindung mit einem Influenz-Commutator und einer Helmholtz'schen Treibmaschine bei günstiger Witterung von dem Replenisher eine sehr befriedigende Wirkungsconstanz oft gewonnen werden *kann*, so müssen wir doch noch etwas anderes zu finden suchen, weil die Vermehrungszahl in der practischen Ausführung sehr von der Drehungsgeschwindigkeit abhängig ist, und außerdem weil wir auf diese Weise nicht Positiv- und Negativ-, sondern Positiv- und Null-Pole haben.

Wir finden es daher am besten, eine genügende Anzahl von Elementen zusammenzusetzen, um direct den nöthigen Potentialunterschied der Pole zu gewinnen. Ich habe mich zweier großer galvanischer Säulen bedient: einer Gassiot'schen von 5000 und einer Daniell'schen von 1000 Elementen.

Die Gassiot'sche Säule bietet, in Verbindung mit dem Influenz-Commutator, Alles, was man wünschen könnte; sie bringt den prüfenden Aragonitspiegel jedesmal ganz zur Ruhe; und die Schwingungsdauer des Spiegels bleibt unveränderlich.

Was die *Construction* der Säule betrifft, so hat zunächst

die
die
cher
zu s
Zelle
genü
dure
rasch
größ
2
man
blech
an d
dem
ganz
Kup
Batto
geha
A
werd
1700
chen
mitte
elekt
nahm
beim
Was
Luft
beste
ohne
vortr
der
A
Was
den
fress

die *Größe* der Elemente bekanntlich keinen Einfluss auf die Dichtigkeit der Pole, wohl aber auf die Zeit, in welcher sich diese Dichtigkeit herstellt. Indefs bedarf man zu sehr häufigen Funken nur kleiner Becher; ich fand Zellen von 2^{cm} Tiefe und 1^{cm} Durchmesser vollkommen genügend. Eine gewöhnliche Paraffintafel lieferte mir durch Bohren 176 solcher Zellen; doch der ziemlich raschen Verdunstung wegen ist es rathsam, sie etwas größer zu machen.

Zur Anfertigung der Kupfer - Zink - Plättchen benutzt man am besten das stärkste im Handel vorkommende Zinkblech; das Kupfer darf auch nicht zu dünn seyn, denn an der etwas feuchten Luft überzieht es sich langsam mit dem grünen kohlen sauren Salz Grünspan, wodurch das ganz dünne Blech durchfressen werden kann. Ich habe Kupfer und Zink, ohne irgend welchen Nachtheil für die Batterie, durch Wolle von Berührung unter einander abgehalten.

Auf die Isolation sollte die allergrößte Sorgfalt angewandt werden. Zwar lieferten mir drei Kasten, von denen jeder 1700, 6^{cm} tiefe, 1½^{cm} breite, mit Paraffin überzogene Gläschen enthielt, welche zu fünfzig in Quincunxreihen unmittelbar an einander gedrückt waren, zuerst die erwartete elektrische Wirkung; gleich nach ihrer Zusammensetzung nahmen sie aber schnell an Wirksamkeit ab, wegen des, beim Füllen schwer zu vermeidenden Eindringens des Wassers zwischen die Elementenreihen. Bei der feuchten Luft bewährt sich das unhygroskopische Paraffin als der beste Isolator. Die oben beschriebenen Paraffinzellen waren ohne weiteres von einander vortrefflich isolirt. Eine noch vortrefflichere Säule erhielt ich durch ein Einschmelzen der Gläschen in diese Zellen.

Als Flüssigkeit benutzte man unbedingt *destillirtes* Wasser. Schon bei Anwendung des Brunnenwassers werden die Platten unnöthigerweise verunreinigt und zerfressen. Das Leitungsvermögen des destillirten Wassers

reicht vollkommen aus, um allen Elektrizitätsverlust, der durch Zerstreuung verursacht wird, zu ersetzen; dabei bleiben die Zinkflächen ganz rein.

Bei der oben angegebenen Wirkungsweise zeigt diese Säule keine störende Polarisation.

Die elektrostatische Wirkung ist sehr constant und nimmt nur sehr langsam mit der Zeit ab.

Ihre GröÙe entspricht vollkommen den theoretischen Angaben von Thomson. Meine 5000 Elemente lieferten zwischen den Kugeln eines in den Stromkreis eingeschalteten Funkenmikrometers einen etwas über 1^{mm} langen Funken. Lag ein Pol auf einem Holztisch, so divergten die Blättchen eines Goldblatt-Elektroskops so lange man sie in demselben Zimmer herumtrug.

Will man eine *beliebig rasche* Commutation ausführen können, so bleibt nichts übrig, als eine *constante* Batterie zu bauen.

Ich habe es vorgezogen, mich eines Daniell'schen Elementes in unveränderter Form zu bedienen. Die Thoncylinder hatten eine Höhe von 4,5^{cm} und einen Durchmesser von 2^{cm}, die Zinkstäbchen 5^{cm} Länge und 1^{cm} Durchmesser; die anderen Elemententheile waren von entsprechender GröÙe.

Ich suchte durch gute Isolation die Batterie möglichst zu schonen; daher wurden die Gläser in acht Schubkasten auf Fensterglas schlangenförmig aufgekittet. *Täglich* wurden alle Elemente auseinandergenommen, auch die Zinkstäbchen gereinigt und wenn nöthig, von Neuem amalgamirt. Nach einem 60tägigen Gebrauch mußten die Zinktheile erneuert werden.

Die Stromintensität war stark genug, um in gewöhnlicher Luft zwischen den Kupferdrahtenden einen 5^{cm} langen Lichtbogen zu erzeugen.

Einmal berührte ich aus Versehen mit beiden Händen die leitenden Drähte; der empfundene Krampf war so stark, daß ich mich nur durch Hinwegeilen befreien konnte.

Obwohl der Gebrauch einer solchen Batterie einen bedeutenden Zeitverlust verursacht, so ist letztere jedoch meiner Meinung nach nicht durch complicirtere Formen der Zusammensetzung zu vermeiden; im Gegentheil, je *einfacher* die Elemente, um so leichter kann man sie einzeln reinigen und amalgamiren, was nothwendigerweise *oft* geschehen muß, um eine constante und zu gleicher Zeit starke Wirkung zu erhalten.

Ueber die Wirkung der *zusammengesetzten Apparate* ist folgendes zu bemerken: —

Bei der Combination: Daniell'sche Batterie, Friction-Commutator und Condensator wird es nöthig seyn, den Mechanismus der Ladung der Platten etwas näher ins Auge zu fassen.

Feddersen¹⁾ hat gezeigt, daß bei einem kleinen Widerstand im Schließungsbogen die Entladung einer Leydener Flasche eine oscillirende ist. Die Entladungsdauer hängt in diesem Fall ab von dem Widerstand des Bogens, von der Capacität der Flasche, aber nicht von der Schlagweite. Die Abhängigkeit von dem Widerstand kann man aus folgender Tabelle beurtheilen:

Zahl der Flaschen	Länge des Schließungsbogens in Metern	Oscillationsdauer in Secunden
10	5,26	0,0000132
10	25,26	0,0000410

Ueber die Abhängigkeit von der Capacität stellte Feddersen folgende empirische Formel auf:

$$t = a\sqrt{s}$$

wobei t die Dauer der Oscillation, s die Zahl der Flaschen, a eine von der Beschaffenheit der Flaschen abhängige Constante bedeutet. Schließlich haben wir zur Bestimmung

1) Feddersen, Pogg. Ann. CXIII.

Poggendorff's Annal. Bd. CLVIII.

der Abhängigkeit von der Schlagweite bei kleinem Drahtwiderstand folgende Tabelle:

Zahl der Flaschen	Schlagweite in mm	Dauer der Entladung in Secunden
10	4	0,00000304
10	8	0,00000305
16	1,5	0,0000511
16	9	0,0000514

Unser Condensator hat lange nicht die Capacität einer Leydener Flasche; die beiden 1^{mm} dicken Zuleitungsdrähte hatten zusammen eine Länge von ungefähr 6^m und waren im allgemeinen weit von einander entfernt. Alle folgenden Commutationsperioden sind viel länger als obige Zeitschnitte, daher sind wir berechtigt, die Ladung der Platten als immer wirklich vollzogen anzusehen.

Die *Funkenstrecke* hat aber einen nicht unbedeutenden Einfluß auf die *Höhe* der Ladung. Da durch die, die Ladung begleitende Erwärmung die von ihr ergriffene Luft verdünnt und deren Widerstand progressiv vermindert wird, so könnte man glauben, letztere verhalte sich schließlich wie ein vollkommener Leiter. Dies ist aber nicht der Fall, wie Riefs ¹⁾ gezeigt hat. Daher muß unter sonst gleichen Umständen die Höhe der Ladung um so kleiner seyn, je größer die Funkenstrecke ist. Nun ist bei der rollenden Reibung die Berührung der Metallflächen keine vollkommene, durch Druck wird sie verbessert; jedenfalls berühren sich nur einzelne Punkte. Hiernach muß sich ein directes Verhältniß zwischen Druck und Ladung zeigen. Die Erfahrung bestätigt dies, wie folgende Tabelle zeigt. Jede Reihe repräsentirt die „Kraftmessungen“ einer ganzen Tagesarbeit von 3 bis 5 Stunden.

1) Riefs, Reibungs-Elektricität. Bd. II, S. 628.

Tabelle I.

Schwingungsdauer in Secunden.

9. Juli	10. Juli	12. Juli	14. Juli	16. Juli
2,444	2,263	2,328	2,284	2,529
2,450	2,288	2,431	2,390	2,556
2,488	2,300	2,423	2,509	2,556
2,488	2,350	2,434	2,578	2,581
2,513	2,391	2,484	2,650	2,594
2,556	2,456	2,592	2,738	2,612
2,538	2,481	2,631	2,768	2,622
2,540	2,509	2,659	2,794	2,638
2,519	2,531	2,765	2,773	2,644
2,544	2,513	2,844	2,944	2,653
2,556	2,540	2,892		2,633
2,572	2,578	2,965		2,650
2,603	2,619			2,656
2,685	2,713			2,670
2,706	2,819			
2,796	2,834			
2,813				
2,819				

Dafs diese Abnahme der Ladungshöhe nur von einem verminderten Drucke, nicht aber von der Batterie selbst herrühren konnte, war dadurch bewiesen, dafs eine neue Einstellung der commutirenden Rollen die Kraft vermehrte, wie folgende Reihen zeigen:

Tabelle II.

19. Juli	27. Juli	7. August
2,709	2,313	2,731
2,728	2,313	2,796
2,747	2,534	2,804
2,666	2,256	2,378
2,709	2,356	2,381

Die Geschwindigkeit der Commutation könnte möglicherweise einen Einfluß auf die Höhe der Ladung dadurch ausüben, dafs durch die raschere Aufeinanderfolge der

Funken, die Luft stärker erwärmt wäre. Die Aenderung in der Kraft war aber kaum zu verspüren.

Die Combination: Daniell'sche Batterie, Quecksilber-Commutator und Condensator gab mir die aller constanteste Kraft. Dieß zeigen folgende Reihen von Kraftmessungen:

Tabelle III.

Dauer der Messungen = 5 Stunden		Dauer der Messungen = 5½ Stunden	
1,966	2,005	1,992	2,050
1,907	2,010	1,988	2,066
1,958	2,016	2,050	2,116
1,969	2,000	2,050	2,110
	2,033	2,013	2,113
	2,038	2,030	2,113

§. 5.

Jetzt sind wir im Stande, die Faraday'sche Theorie zu prüfen. Nach dieser Theorie stehen die Leitung und die Polarisirung in einem umgekehrten Verhältniß zu einander. Es muß daher Fälle geben, wo diese beiden entgegengesetzte, mechanische Bewegungen verursachen. Dieß wäre dann ein vollkommener Beweis, daß beide nicht identisch sind.

In der That giebt es solche Fälle. Wiedemann hat nämlich durch eigenthümliche Versuche gefunden, daß einige Krystalle, die zu den optisch negativen gehören, in der Richtung ihrer krystallographischen Axe am besten leiten, andere hingegen, die zu den optisch positiven gehören, am besten in der Richtung leiten, die auf ihrer Axe senkrecht steht. Durch später anzugebende Versuche¹⁾ habe ich selbst bewiesen, daß eine parallel der optischen Axe geschliffene Kalkspathscheibe in einem gewöhnlichen elektrischen Felde horizontal aufgehängt, sich vermöge der

1) Tabelle VII.

Leitung so einstellen muß, daß die optische Are *axial* ist. Hängt man aber dieselbe Scheibe in unserm dielektrischen Felde auf, so stellt sich die optische Axe jedesmal genau *aequatorial* ein.

Ohne dadurch irgend etwas Anderes auszudrücken als das eben Bewiesene, mit der Thatsache verbunden, daß bei Vermehrung der wirkenden Kraft die Leitung alles Entgegengesetzte schliesslich immer zu überwinden vermag, könnten wir nun mit Faraday die Ursache dieses, der Leitung entgegengesetzten Phänomens als einen elektrischen *Widerstand* betrachten.

Wir sind aber noch nicht *physikalisch* berechtigt, diesen „Widerstand“ als eine elektrische „Polarisation“ aufzufassen; die Erlaubniß dazu suchen wir jedoch jetzt dadurch zu gewinnen, indem wir zeigen, daß die Polarisation eine *sehr* kurze Zeit fordert, um sich in Substanzen herzustellen, worin die Leitung nur langsam eintritt.

Nachdem der Frictions-Commutator so lange gebraucht war, bis alle Theile vortrefflich zu einander paßten, verband ich denselben mit der Daniell'schen Batterie, und es gelang mir, die Zahl der Commutation bis auf 6090 in der Secunde zu bringen, wobei der Commutator mittelst eines Savart'schen Rades sicher getrieben wurde. Dieser Geschwindigkeit ungeachtet, strebte die Aragonitscheibe sich axial zu stellen. Zwar kam sie nicht zur Ruhe wegen des etwas veränderlichen Reibungsdruckes; diese große Empfindlichkeit ist aber an sich ein schöner Beweis für die Instantaneität der Wirkung. Bei sehr leichter Berührung der Rollen brachte ich schliesslich den Krystall zur Ruhe und gewann mehrere vergleichende Messungen, von welchen folgende schöne Beispiele sind.

Tabelle IV.

<i>c</i>	<i>T</i>
1045	5,150
1395	5,150

Tabelle V.

<i>c</i>	<i>T</i>
1916	6,500
2264	6,500

Hierbei bedeutet „ C “ die Anzahl der Commutationen in der Secunde, „ T “ aber die Schwingungsdauer.

Bei einer etwas veränderten Form des Commutators, wobei, ähnlich wie bei dem Influenz-Commutator, das treibende Zahnrad durch ein Schnurrad ersetzt war, ist es mir gelungen den Frictions-Commutator, obwohl in Verbindung mit der Daniell'schen Batterie, als einen wirklichen *Funken*-Commutator zu gebrauchen und auf diese Weise die Scheibe wieder zur Ruhe zu bringen. Man kann wohl glauben, daß bei einer solchen kurzen Funkenlänge es keine leichte Sache ist, einen Satz von Beobachtungen auszuführen, ohne Sprung in der Schwingungsamplitude. Ich habe jedoch einen solchen Satz erhalten, auf welchen ich Gewicht lege, weil der Commutator während aller drei, unmittelbar nach einander folgenden Messungen, ausnahmsweise schön lief, zwei ganz ruhige Lichtpunkte zeigte und die schwingende Scheibe *ganz* zur Ruhe brachte.

Tabelle VI.

C	T
1260	3,03
2520	3,03
1260	3,00

Letztere Form der Commutation machte es mir möglich zu beweisen, daß die berechnete Anzahl der Ladungen die richtige war; denn, bei einer Verbindung des Funken-Commutators mit einer mit Salzwasser gefüllten Gassiot'schen Säule hatte ich schon durch Beobachtung der Bilder in einem rotirenden Spiegel die Zahl der Funken bis auf 350 in der Secunde berechnet; eine raschere Aufeinanderfolge der Funken könnte, wegen der Luft-erhitzung, einer vollkommenen Commutation nur günstiger seyn. Indem es mir nun möglich war, die Commutation funkenweise auszuführen, so war kein Zweifel übrig, daß auch frictionsweise die berechnete Zahl die actuelle war.

Eine noch genauere Vergleichung der Polarisation bei geänderten Wirkungsperioden wurden mir ermöglicht durch Beobachtung der Ruhelage des Polarisationspiegels. Die Torsion des langen Coconfadens übte nämlich einen kleinen Einfluß auf dieselbe aus. Durch Vermehrung der Torsion konnte ich eine beliebige Empfindlichkeit herstellen, so daß jede Kraftänderung sich durch eine veränderte Ruhelage des Spiegels äußerte. So lange aber als die Commutation nur funkenweise oder nur frictionsweise ausgeführt war, blieb der Krystall ganz ruhig hängen, nur zeigte sich, wie ich glaubte, eine äußerst kleine *Kraftzunahme* mit wachsender Geschwindigkeit. Eine kleine Vermehrung der Kraft bei Vergrößerung der Funkenzahl wurde aber erwartet. Daß es möglich war den Spiegel längere Zeit in Ruhe zu erhalten, spricht für die Vortrefflichkeit der Apparate; außerdem zeigt es, daß etwaige kleine Schwankungen in der Funkenlänge durch das von Thomson angegebene Verhältniß zwischen Funkenlänge und Potentialunterschied practisch aufgehoben wurden.

Es ist nach alledem nicht daran zu zweifeln, daß binnen 0,0000802 Secunden die elektrische „Polarisation“ ihre Maximumgröße erreicht.

Bei constanter Ladung der Condensatorplatten war das dielektrische Phänomen ein ganz anderes. Dünne Kalkspath- und Aragonit-Scheiben, auch wenn sie weniger als 2 Minuten in dem mit den Polen der Daniellschen Batterie direct verbundenen Condensator geblieben waren, kehrten sich mit einer Umkehrung der Pole um. Eine parallel der optischen Axe geschliffene Kalkspathscheibe gab mir folgende Tabelle, wobei der Commutator mit einer Gassiot'schen Säule in Verbindung stand.

Tabelle VII.

Intervall zwischen den Beobachtungen	Optische Axe der Drehungsaxe	Intervall zwischen den Beobachtungen	Optische Axe L der Drehungsaxe
5 Min.	1,577	5 Min.	1,425
5 "	1,505	5 "	1,380
5 "	1,497	13 Stunden	1,380
5 "	1,484	5 Min.	1,343
5 "	1,463	5 "	1,347
5 "	1,461	5 "	1,345
5 "	1,452	5 "	1,350
5 "	1,447	5 "	1,355
13 Stunden		5 "	1,353
5 Min.	1,403	5 "	1,356
5 "	1,395		
	1,395		

Hiernach mußte die optische Axe einer *horizontal* aufgehängten Scheibe sich axial einstellen.

Eine Schwefelkugel, welche bei commutirender Ladung eine bestimmte Ruhelage behauptete, zeigte bei constanter Ladung eine höchst zufällige; wurde nach einer Wirkung von 15 Secunden die Ladung der Platten plötzlich gewechselt, so zeigte die Kugel das Bestreben sich umzudrehen; wurde aber erst nach einer halben Minute die Umkehrung der Pole vorgenommen, so kehrte sich die Kugel auch gewaltsam um. Das Experiment wurde öfters wiederholt und zwar so, daß nacheinander alle Elasticitätsaxen mit der Richtung der Drehungsaxen zusammenfielen; das Verhalten war jedoch ausnahmslos dasselbe. Vor jeder Beobachtung war die Kugel über Nacht im Condensator geblieben, während welcher Zeit frische Chlorcalcium - Stücke auch im Condensator in der Glasschale lagen.

Auch hier ist die Abnahme der Schwingungsdauer mit der Zeit leicht meßbar. Ich erhielt nämlich:

D
Minu
30 M
dann
die I
durch
D
beim
pfind
In
kann
geme
nach
sich
von
habe
gonit
und

Tabelle VIII.

<i>T</i>	<i>T</i>
7,725	7,200
7,375	5,800
5,750	5,300
5,525	5,025
5,025	4,788
4,825	4,650
5,275	4,475
4,550	4,375
4,500	4,275
4,400	4,325
4,300	4,284
4,225	
4,300	
4,175	

Die erste Reihe repräsentirt ein Zeitintervall von 30 Minuten. Nachdem diese vollendet war, wurde der Krystall 30 Minuten lang einer commutirenden Wirkung ausgesetzt; dann folgte die zweite Reihe, welche, um zu prüfen, ob die Daniell'sche Batterie eine störende Polarisation zeigte, durch eine directe Verbindung der Pole oft gestört war.

Die Leichtigkeit, mit welcher dieses Phänomen sich beim Schwefel zeigte, giebt ein Criterium für die Empfindlichkeit der Beobachtungsmethode.

Indem wir nun alle, zum Theil wahrscheinlich unbekannten Ursachen dieser dielektrischen Wirkung in einem gemeinsamen Begriff zusammenfassen, fragen wir weiter nach der Zeit, welche für dieselben erforderlich ist, um sich merklich zu äußern. Die Antwort hängt natürlich von der Natur des Dielectricums ab. Drei Substanzen habe ich in dieser Beziehung untersucht: Kalkspath, Aragonit und Quarz. Alle hatten die Form von Scheiben und waren vollkommen fehlerfrei. Ich bediente mich wie

im Folgenden immer, wenn Anders nicht ausdrücklich gesagt wird, der Combination: Daniell'sche Batterie, Frictions-Commutator und Condensator. Das mit einem Zählerwerk versehene Savart'sche Rad wurde von einem Dienstmann so constant wie möglich gedreht; vor jeder Messung wurde mittelst einer Zahnbürste die Peripherie des Commutatorrades gereinigt.

Wo in den Tabellen die Wörter „langsam“ und „geschwind“ zu lesen sind, wurden die Beobachtungen folgenderweise ausgeführt: Zuerst wurde solange constant gedreht, bis die Scheibe ganz zur Ruhe kam; sodann machte der Dienstmann, während ich constatirte, daß dabei die Ruhelage vollkommen unverändert blieb, einen plötzlichen Sprung in der Drehungsgeschwindigkeit. Eine augenblickliche Berührung einer der Leitungsdrähte genügte mir dann, eine kleine Bewegung des Spiegels hervorzubringen, worauf sogleich die Bestimmung der Schwingungsdauer folgte.

Tabelle IX.
Kalkspathscheibe.

C	T
216	2,805
327	3,025
300	2,975
203	2,950}
	2,950}
268	3,075}
	3,125}
328	3,210}
	3,120}
	2,220}
132	3,125}
	3,150}
198	3,175}
	3,125}

<i>C</i>	<i>T</i>
174	3,225) 3,250)
200	3,300) 3,300)
167	3,325) 3,330)
218	3,325) 3,350)
Geschwinder als 218	3,325) 3,325)
Langsamer als 150	3,350

Tabelle X.

Aragonitscheibe.

<i>C</i>	<i>T</i>
154	2,950) 2,975)
220	2,975) 2,875)
227	2,925) 2,975)
164	3,000) 3,050)
194	3,050) 3,125)
155	3,075) 3,050)
Geschwind	2,950) 3,025)
Langsam	3,050) 3,075)
Geschwind	3,075) 3,050)

Tabelle XI.
Quarzscheibe.

<i>C</i>	<i>T</i>
157	5,350 } 5,450 } 5,400 }
223	5,300 } 5,075 } 4,950 }
182	5,450 } 5,400 } 5,425 }
Langsam	4,725
Rasch	4,800
Langsam	4,725
Geschwind	4,725
Langsam	4,750
Geschwind	4,725
Langsam	4,850 } 4,825 }
Langsam	4,200 4,275
Geschwind	4,225 4,250 4,275
Langsam	4,250 4,275
Sehr ge- schwind	Ruhelage ganz un- verändert

Aus diesen Messungen folgt, daß für die betreffenden Krystalle alle dielektrischen Phänomene, welche von der Zeit abhängen, mehr als 0,00286 Sec. brauchen, um sich bemerkbar zu machen. Für Aragonit habe ich bei noch langsameren, mittelst des Quecksilber-Commutators, ausgeführten Commutationen, eine Reihe von Messungen gewonnen.

In

Tabelle XII.

Aragonitscheibe.

<i>C</i>	<i>T</i>	<i>T</i>
16	2,019	2,029
	2,031	
	2,038	
19	2,075	2,083
	2,091	
19	2,062	2,069
	2,075	
16	2,063	2,063
	2,063	
24	2,081	2,090
	2,088	
	2,100	
32	2,050	2,058(?)
	2,066	
24	2,138	2,146
	2,150	
	2,150	
19	2,038	2,043
	2,066	
	2,025	
24	2,138	2,163
	2,188	
32		Inconstant
24	2,100	2,103
	2,106	
16	2,050	2,029
	2,000	
	2,038	
24	2,063	2,088
	2,113	

In einer summarischen Uebersicht:

für $C < 16$, T sehr von C abhängig,für $C = 16$, $T = 2,029$

$$\left. \begin{array}{l} 2,063 \\ 2,029 \end{array} \right\} = 2,040$$

$$\begin{array}{r} \text{für } C = 19, T = 2,083 \\ \quad \quad \quad 2,069 \\ \quad \quad \quad 2,043 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} \text{für } C = 19, T = 2,083 \\ \quad \quad \quad 2,069 \\ \quad \quad \quad 2,043 \end{array}} \right\} = 2,065$$

$$\begin{array}{r} \text{für } C = 24, T = 2,090 \\ \quad \quad \quad 2,146 \\ \quad \quad \quad 2,163 \\ \quad \quad \quad 2,103 \\ \quad \quad \quad 2,088 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} \text{für } C = 24, T = 2,090 \\ \quad \quad \quad 2,146 \\ \quad \quad \quad 2,163 \\ \quad \quad \quad 2,103 \\ \quad \quad \quad 2,088 \end{array}} \right\} = 2,118.$$

Für $C = 32$, Commutation unvollkommen.

Innerhalb 0,0208 Sekunden tritt hiernach beim Aragonit das unbekannte dielektrische Phänomen auf.

Die oben bewiesenen Thatsachen geben uns nun einigen Aufschluß über die *Natur* der Polarisation. Man hat bekanntlich über dieselbe zwei Hypothesen aufgestellt, welche nichts weiter sind als eine Uebertragung der beiden magnetischen Hypothesen auf elektrisches Gebiet: Erstens durch die elektrische Kraft erfolge eine Scheidung der entgegengesetzten Elektricitäten bei allen einzelnen Molecülen, wie nach Faraday; oder zweitens an jedem einzelnen Theilchen seyen die Elektricitäten schon von Natur geschieden, für gewöhnlich sey aber die *Lagerung* der Theilchen eine ganz unregelmäßige. Letzterer Hypothese wird oft der Vorzug gegeben, wegen der Analogie mit dem Magnetismus. Allein eben diese Analogie zeigt, daß eine Drehung der Molecüle eine *meßbare Zeit* erfordert um ihr Maximum zu erreichen.

Daher müssen wir eine, *innerhalb der Molecüle* zu Stande kommende, am consequentesten durch die Faraday'sche Anschauungsweise versinnlichte Polarisation annehmen.

Es ist hierbei keineswegs ausgeschlossen, daß mit der Zeit, außer der Leitung, dielektrische Phänomene anderer Art auftreten. Es ist z. B. möglich und bei krystallisirten Substanzen höchst wahrscheinlich, daß nach der Polarisation eine *Drehung* der Molecüle stattfindet. Denn im Allgemeinen ist die Richtung der Polarisation von der

Richt
müßat
sichti
weiter
nämli
Polar
D
der
nämli
ist,
zwan
pacit
Temp

M
U
wir,
elektr
Kräfte
verthe
Dielek

Di
tricum
halten
selben
daher
gleich

1) Si
2) Gi

Richtung der Kraft verschieden, in einem solchen Fall müßte eine Drehung der Moleculé erfolgen. Wir beabsichtigen nicht diese „dielektrische Nachwirkung“ hier weiter zu berücksichtigen, nachdem wir nun unseren Zweck, nämlich die Auffindung einer Zeitgränze, wo eine reine Polarisation hervortritt, erreicht haben.

Die Abhängigkeit der Polarisation von der Kraft und der Temperatur haben andere gezeigt; Siemens¹⁾ hat nämlich bewiesen, daß sie der Kraft einfach proportional ist, und Gibson und Barclay²⁾ gewannen neunundzwanzig vortrefflich übereinstimmende Werthe für die Capacität eines Paraffin-Condensators, obwohl dabei die Temperatur um mehr als 36° C. variierte.

II.

Maxwell's elektromagnetische Theorie des Lichtes.

§. 1.

Unter der Voraussetzung einer reinen Polarisation haben wir, indem wir unter x, y, z , die Componenten der dielektrischen Momente, unter ψ das Potential der äußeren Kräfte und unter q dasjenige der im dielektrischen Felde vertheilten Elektricitäten verstehen, für ein beliebiges Dielektricum

$$\left. \begin{aligned} -x &= \varepsilon_{11} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial x} + \varepsilon_{12} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial y} + \varepsilon_{13} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial z} \\ -y &= \varepsilon_{21} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial x} + \varepsilon_{22} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial y} + \varepsilon_{23} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial z} \\ -z &= \varepsilon_{31} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial x} + \varepsilon_{32} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial y} + \varepsilon_{33} \frac{\partial(\psi + q)}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1).$$

Die Coëfficienten ε hängen von der Natur des Dielektricums, nicht aber von seiner Form ab; außerdem behalten sie, wegen der Homogenität, für alle Punkte denselben Werth. Gäben wir einem dielektrischen Körper daher eine Kugelgestalt und brächten wir ihn in ein gleichartiges, unveränderliches, dielektrisches Feld hinein,

1) Siemens, Pogg. Ann. Bd. CII, S. 88.

2) Gibson und Barclay, *Phil. Trans.* 1871, p. 573.

so könnten wir nach einem Verfahren, welches ganz analog demjenigen ist, welches W. Thomson¹⁾ für magnetische Induction angewandt hat, leicht beweisen, daß

$$\varepsilon_{12} = \varepsilon_{21}; \varepsilon_{31} = \varepsilon_{13}; \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32}.$$

Multipliciren wir nun die Zeichnungen der Reihe nach mit

$$\frac{\partial(\psi + q)}{\partial x}, \frac{\partial(\psi + q)}{\partial y}, \frac{\partial(\psi + q)}{\partial z},$$

und addiren die Producte, so haben wir, indem wir setzen

$$-\frac{\partial(\psi + q)}{\partial x} = \xi, \text{ usw.}$$

$$\begin{aligned} x\xi + y\eta + z\zeta &= \varepsilon_{11}\xi^2 + \varepsilon_{12}\eta^2 + \varepsilon_{13}\zeta^2 + 2\varepsilon_{12}\eta\xi \\ &\quad + 2\varepsilon_{21}\xi\eta + 2\varepsilon_{13}\xi\zeta. \end{aligned}$$

Die linke Seite dieser Gleichung ist von der Lage der Coordinatenaxen unabhängig, die Gleichung hat daher unter der Voraussetzung, daß ξ , η und ζ endlich sind, dieselbe Form wie die Gleichung eines Ellipsoides. Durch passende Wahl der Axen können wir also die drei letzten Glieder wegschaffen und setzen

$$\varepsilon_{12} = \varepsilon_{21} = \varepsilon_{13} = 0.$$

Die Gleichungen (1) lassen sich daher auf die Form bringen

$$\left. \begin{aligned} x &= -\varepsilon_1 \frac{\partial(\psi + q)}{\partial x} \\ y &= -\varepsilon_2 \frac{\partial(\psi + q)}{\partial y} \\ z &= -\varepsilon_3 \frac{\partial(\psi + q)}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots \dots (1^*).$$

q sowohl wie ψ muß der Laplace'schen Gleichung genügen, daher

$$\begin{aligned} -\frac{1}{4\pi} \nabla^2 q &= +E^1 = -\left(\frac{\partial x}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial y} + \frac{\partial z}{\partial z}\right) \\ -\frac{1}{4\pi} \nabla^2 \psi &= +E \dots \dots (2). \end{aligned}$$

Durch Elimination von x , y , z aus (1) und (2) gewinnen wir die Gleichungen

1) Thomson, *Reprint of Papers on Electr. and Mag.* §. 622.

$$\frac{\partial}{\partial x}(1 + 4\pi\epsilon_1)\frac{\partial(\psi + \varphi)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}(1 + 4\pi\epsilon_2)\frac{\partial(\psi + \varphi)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}(1 + 4\pi\epsilon_3)\frac{\partial(\psi + \varphi)}{\partial z} = -4\pi E \quad (3).$$

Es ist philosophisch betrachtet nur eine andere Anschauungsweise, wenn wir $1 + 4\pi\epsilon = K$, $E' + E = E''$, und $\psi + \varphi = V$ setzen und schreiben

$$-\frac{1}{4\pi}\nabla V = E'' \quad (4).$$

Ist K von der Richtung unabhängig, so geben (2) und (4)

$$4\pi(E - KE'') + \frac{\partial K}{\partial x} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial K}{\partial y} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial K}{\partial z} \cdot \frac{\partial V}{\partial z} = 0$$

und im Fall, wo K constant ist $K = \frac{E}{E''}$.

Die GröÙe K , von Faraday vermöge der letzten Gleichung „specifische dielektrische Capacität“, von Thomson aber dielektrische Permeabilität“ genannt, ist durch die mathematischen Untersuchungen von Maxwell zu einer Quantität von der größten Wichtigkeit erhoben. Er hatte nämlich die Faraday'sche Theorie richtig gewürdigt und machte sie zur Grundlage einer mathematischen, elektromagnetischen Theorie. Ein höchst merkwürdiger Punkt dieser Theorie besteht in der Behauptung¹⁾, daß die periodischen, elektromagnetischen Störungen und die Fresnel'schen Lichtoscillationen, deren mathematische Gleichungen der Form nach als identisch bewiesen werden, auch identischer Natur seyen. Es folgt aus dieser Behauptung, daß die dielektrische Permeabilität gleich seyn muß dem Quadrat des Brechungsexponenten des Lichtes, also

$$K = N^2.$$

Nach der Maxwell'schen Theorie ist ϵ unendlich groß, so daß die Gleichungen (1) sich auf die Form reduciren

$$\nabla = -\frac{1}{4\pi}K\frac{\partial\psi}{\partial x}.$$

1) Maxwell, „A Treatise on Electr. and Mag.“, Chap. XX.

Das Verhältniß zwischen Kraft und Polarisation nennt Maxwell den Elektro-Elasticitäts-Coëfficient. Nun ist aber nach Fresnel die Lichtgeschwindigkeit der Quadratwurzel aus dem Elasticitäts-Coëfficienten des Mediums proportional, daher müssen die beiden Elasticitäts-Coëfficienten einander proportional seyn. Also, was von dem Fresnel'schen Elasticitäts-Ellipsoid gesagt wird, muß sich hiernach auf das Elektro-Elasticitäts-Ellipsoid übertragen lassen, beide müssen zusammenfallen.

Wird nun die Gleichung $K = n^2$ durch die Erfahrung bestätigt?

§. 2.

Vor allen Andern verdankt man Boltzmann wichtige Beiträge zur Beantwortung dieser Frage. Unter den vielen Beobachtern, deren Resultate sehr von einander abweichen, scheint er allein alle nöthige Maafsregeln getroffen zu haben, um zuverlässige Messungen zu gewinnen, und in der That stimmen seine Bestimmungen der dielektrischen Permeabilität einiger Gase ¹⁾ merkwürdig genau mit den berechneten Werthen überein. Nicht so überzeugender Natur, wie er selbst zugiebt, sind die Resultate für feste Isolatoren, obwohl auch hier einzelne Substanzen bis zu einem gewissen Grade die theoretische Gleichung bestätigen.

§. 3.

Auch ich habe ernstlich versucht, diese Gleichung zu prüfen und mich endlich entschlossen, einige Messungen zu veröffentlichen in der Hoffnung, daß sie etwas zu beitragen mögen, das noch dunkle Verhalten der festen Isolatoren im dielektrischen Felde aufzuklären.

Der Methode, welche ich zur Prüfung der Gleichung anwandte, liegt folgende Idee zu Grunde. Die Gesetze der magnetischen und der dielektrischen Polarisation sind von genau derselben mathematischen Natur. Es wird

1) Boltzmann, Wiener Berichte, Bd. LXIX.

daher möglich seyn, die Beobachtungsweise Plücker's¹⁾ über das magnetische Verhalten von Krystallen mit ungleichen Elasticitätsaxen auch auf dielektrisches Gebiet zu übertragen, so lange man dafür sorgt, daß keine der Bedingungen einer reinen Polarisation verletzt werde. Auf diese Weise gewinnt man ein sehr empfindliches Mittel zur Auffindung der Elektro-Elasticitätsaxen, der Ebene gleicher, dielektrischer Permeabilität und der Verhältnisse der Permeabilitäten in verschiedenen Richtungen.

(Schluß im nächsten Heft.)

II. *Ueber die Gesetze des Durchganges der Elektrizität durch Gase; von G. Wiedemann.*

(Aus d. Berichten d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1876 mitgetheilt
vom Hrn. Verf.)

In den Berichten der Kgl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften Oct. 1871 (diese Ann. Bd. CXLV, S. 335 und 364) habe ich in Gemeinschaft mit Hrn. Dr. R. Rühlmann eine Abhandlung über den Durchgang der Elektrizität durch Gase veröffentlicht.

Um einen genaueren Einblick in diese Erscheinungen zu gewinnen, erschien es zweckmäßig, die Bedingungen der Versuche möglichst einfach herzustellen. Es wurde deshalb zunächst als Elektrizitätsquelle eine Holtz'sche Elektrisirmaschine angewendet, welche die Elektrizitäten in gleichmäßigem, langsamem Strome zu den Elektroden führte, und zwar in gleichen Zeiten in Quantitäten, die von der Stromesbahn selbst wesentlich unabhängig waren. Zugleich waren hiebei die Elektrizitätsmengen, welche während der Dauer einer Entladung den Elektroden durch die Maschine neu zugeführt wurden, verschwindend klein

1) Plücker, Pogg. Ann. LXVII.

gegen die durch jene Entladung zwischen den Elektroden übergeführte Elektrizitätsmenge.

Erst nach der Erledigung dieser einfachsten Vorgänge sollten die Entladungserscheinungen unter Anwendung der Leydener Batterie, des Inductoriums und der galvanischen Säule als Elektrizitätsquellen, bei denen jene Unabhängigkeit nicht allgemein stattfindet und außerdem noch complicirende Umstände obwalten, näher betrachtet werden.

Ich erlaube mir, im Folgenden eine Fortsetzung der oben erwähnten Arbeit mitzuthemen, welche ebenfalls noch hauptsächlich die Erscheinungen behandeln soll, die sich bei schwächeren Drucken ergeben, *bei denen die Entladungen wesentlich durch das den Entladungsapparat erfüllende Gas vermittelt werden.*

Durch die früheren Untersuchungen hatte sich gezeigt, daß unter diesen Bedingungen bei Verbindung der einen der beiden gleich großen Elektroden des Entladungsapparates mit der positiven Elektrode der Elektrisirmaschine und Ableitung der nicht verbundenen Elektroden zur Erde in der Zeiteinheit weniger Entladungen erfolgen, als bei umgekehrter Verbindung. Aus diesen und analogen Versuchen mit verschiedenen großen Elektroden war der Satz abgeleitet worden, daß zur Einleitung einer Entladung an der positiven Elektrode ein größeres Potential der gesammten Elektrizitäten auf die auf der Oberflächeneinheit der Elektrode angehäuften Elektrizität erforderlich ist, als an der negativen. Hieraus folgte unmittelbar, daß die elektrisirten Gastheilehen sich von der positiven Elektrode mit größerer Anfangsgeschwindigkeit entfernen, also auch weiter ausbreiten, als von der negativen, und die Annahme, daß die positive Elektrizität leichter aus den elektrisirten Körpern ausströme, als die negative, nicht richtig ist.

Man könnte es vielleicht für möglich halten, daß diese Erscheinungen durch secundäre Umstände bedingt wären, infolge deren sich nach früheren Ansichten die eine (positive) Elektrizität leichter in die (feuchte) Luft zerstreute. Es wäre etwa anzunehmen, daß dadurch bei Verbindung

der
der
leitu
Ent
Ele
bin
Zah
gin

der
geg
den

Ap
Wi
die
Ele
En
ihr
ric
jec
Hä
lad
der
lad
wa
rat
ihr
der
der
dro
der
sei
au
dr
El
wu

der einen (positiven) Elektrode der Elektrisirmaschine mit der einen Elektrode des Entladungsapparates und Ableitung der anderen Elektroden beider Apparate dem Entladungsapparat selbst in gleicher Zeit eine geringere Elektrizitätsmenge zuflosse, als bei umgekehrter Verbindung, und dieselbe somit auch in einer geringeren Zahl von Entladungen durch den Apparat zur Erde überginge.

Dieser Einwand läßt sich indess durch directe Messung der in jedem Fall durch den Entladungsapparat hindurchgegangenen Elektrizitätsmengen widerlegen, wie die folgenden Versuche zeigen.

Hiezu wurde mit geringen Abänderungen derselbe Apparat, wie zu den früheren Versuchen, verwendet. Wie in der ersten Abhandlung erwähnt ist, wurden dabei die einzelnen, parallel der Richtung der Rotationsaxe der Elektrisirmaschine zwischen den Elektroden erfolgenden Entladungen in einem auf die Axe aufgesetzten und mit ihr rotirenden Spiegel mittelst einer heliometerartigen Vorrichtung (eines Fernrohrs mit vertical zerschnittener Objectivlinse) beobachtet. Durch Verschiebung der einen Hälfte der Objectivlinse wurde die eine Hälfte des Entladungsbildes um den Abstand zweier auf einander folgender Bilder verschoben, und somit der Abstand der Entladungen gemessen. Bei dem nunmehr benutzten Apparat war die durchschnittene Linse des heliometrischen Apparates gröfser, als früher (ihr Durchmesser betrug 10 Ctm., ihre Brennweite 30 Ctm., bei den späteren Versuchen mit den Entladungsröhren 21 Ctm.). Sodann wurde die Scheibe der Elektrisirmaschine mittelst eines Schmid'schen Hydromotors in Bewegung gesetzt, der mit der Wasserleitung des Laboratoriums in Verbindung stand und sich durch seinen stundenlang sehr regelmäfsig andauernden Gang auszeichnete. Eine Umdrehung des Triebrades des Hydromotors entsprach 7 Umdrehungen der Scheibe der Elektrisirmaschine. Die Elektroden der Elektrisirmaschine wurden durch zwei mit Guttapercha überzogene Kupfer-

drähte *A* und *B*, Fig. 1, Taf. II, von gleicher Länge mit einem einfachen Gyrotrop verbunden, der aus einer Paraffinplatte bestand, in welche vier Löcher *a*, *b*, *c*, *d*, eingbohrt waren, die halb mit Quecksilber gefüllt waren. Die Drähte *A* und *B* tauchten in die Löcher *a* und *b*. Das Quecksilber im Loche *c* war mittelst eines Kupferdrahtes mit den Wasserleitungsröhren des Hauses, Loch *d* mit der einen Elektrode des Entladungsapparates verbunden. Zwei an einem Schellackstab gekittete amalgamirte Messingbügel konnten je nach ihrer Lage die Löcher *a* mit *d* und *c* mit *b*, oder auch *a* mit *c* und *b* mit *d* verbinden. Somit gelangte entweder die positive oder die negative Elektricität der Elektrisirmaschine zum Entladungsapparat, während die andere durch *c* zur Erde fortgeführt wurde. Die andere Elektrode des Entladungsapparates war mit dem Loche *d'* eines ganz gleichen Gyrotropes verbunden. In die Löcher *a'* und *b'* desselben tauchten die Enden der mit Guttapercha überzogenen Leitungsdrähte des Galvanometers, *c'* war zur Erde abgeleitet. Je nach der Lage des Bügels dieses Gyrotropes konnte mithin die durch den Entladungsapparat hindurchgegangene Elektricitätsmenge in der einen oder anderen Richtung durch das Galvanometer zur Erde geführt werden. Das Galvanometer war in der von mir angegebenen Art construirt; die Spiralen bestanden aus je 47 Windungen von 1,5 Mm. dickem Kupferdraht, der mit einer 2 Mm. dicken Schicht von Guttapercha bedeckt war. Die Zuleitungsdrähte zu denselben waren frei in der Luft nebeneinander fortgeführt und mittelst Paalzow'schen Klemmen mit den Spiralen verbunden. Der Magnetspiegel des Galvanometers war durch einen in der magnetischen Nord-Südebene vorgelegten Magnetstab¹⁾ hinlänglich astasirt. Das Galvanometer war so eingestellt, daß beim Durchleiten eines constanten Thermostromes in der einen oder anderen Richtung (mittelst des zweiten Gyrotrops), die positiven und negativen

1) Vgl. E. du Bois-Reymond, Monatsber. der Berl. Acad. 1874. S. 748. Galvanism. II, 2, S. 717.

Ablenkungen des Magnetspiegels einander gleich waren. Um zu untersuchen, ob innerhalb der Gränzen der Versuche die Isolation der Spiralwindungen genügte, jeden Uebergang von freier Elektrizität zwischen ihnen zu verhindern, und ob auch bei größeren elektrischen Spannungen keine Elektrizitätsverluste eintraten, wurden erst die mit den Elektroden des Entladungsapparates verbundenen Quecksilbernäpfe d und d' der beiden Gyrotropen direct durch einen Draht miteinander in Verbindung gebracht, und somit der Entladungsapparat selbst aus dem Kreise ausgeschaltet. Bei einer bestimmten Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe der Holtz'schen Maschine wurde die Ablenkung des Galvanometerspiegels bestimmt. Dann wurde durch Entfernung des Verbindungsdrahtes der Entladungsapparat in den Schließungskreis eingeführt und die Stromintensität bei verschiedenen Drucken der in demselben befindlichen Luft (von 0,7 bis 70 Mm. Quecksilber) gemessen. Obgleich die Zahl der Entladungen in der Zeiteinheit hiebei im Verhältniß von 6 : 1 abnahm, die bei jeder einzelnen Entladung durch das Galvanometer hindurchgehende Elektrizitätsmenge in demselben Verhältniß zunahm, blieb doch die Ablenkung des Galvanometerspiegels so gut wie constant. Sie schwankte nur etwa um 1 Proc., und zwar unabhängig von der Zunahme jener Elektrizitätsmenge. Auch waren beim Umlegen des Bügels des Gyrotrops II. die positiven und die negativen Ausschläge die gleichen.

Die entsprechenden Resultate ergaben sich, als der Entladungsapparat durch eine Geißler'sche Spectralröhre ersetzt wurde, in die durch einen Hahn Luft oder Wasserstoff von verschiedener Dichtigkeit eingeführt war.

Demnach entsprach die Einrichtung des Apparates in dieser Beziehung den Anforderungen zur Genüge.

Nummehr wurde bei verschiedenen Drucken des in dem Entladungsapparat enthaltenen Gases die eine oder andere Elektrizität demselben zugeführt, und sowohl der Abstand y der Entladungen, also auch die Ablenkung $\pm J$

des Galvanometerspiegels bei abwechselnder Verbindung des Galvanometers mit dem Entladungsapparat in dem einen oder anderen Sinne bestimmt. Dabei wurde die Zahl z der Umdrehungen des Triebades des Hydromotors constant auf 50 in je 30 Secunden erhalten, und wenn etwa ganz geringe Abweichungen in der Intensität J eintraten, die erhaltenen Werthe auf die Intensität $J = \pm 50$ reducirt. So wurde u. A. gefunden, je nachdem die positive oder negative Elektrode zum Boden abgeleitet und die andere Elektrode mit der Maschine verbunden war:

Reihe I.

Druck	y (+ abgel.)	y (- abgel.)
13,5 Mm. Hg	6	8,9
24,5 "	7	12
33 "	8,5	13,5
56,2 "	10,5	16,5

Aehnliche Werthe lieferten andere Beobachtungen bei verschiedenen Drucken und Abständen der Elektroden.

Ganz analoge Resultate ergeben sich beim Durchgang der Entladungen durch Entladungsröhren von Glas. So war z. B.

Druck	z	J	y (+ abg.)	z	J	y (- abg.)
2,2	44	71	—	44	71	7
5,4			9,4			12,2
11,2			13			16,6
14,5			13,5			20
18			13,5			21,2
25			15,2			26,2
29,3			—			31,2
31,9			21			33
35,7			23,5			35
45,5			32,3			38,3
49,2			33,5			43
60,7			40			54

Ähnliche Bestimmungen werden wir später anführen.

Es ist also unzweifelhaft, daß die Verschiedenheit der Entladungserscheinungen bei Ableitung der positiven oder negativen Elektrode und die zur Einleitung einer Entladung an der positiven Elektrode erforderliche größere Ladung nicht etwa durch secundäre Elektricitätsverluste bedingt ist, sondern sich auch zeigt, wenn in beiden Fällen ganz gleiche Elektricitätsmengen in gleichen Zeiten zwischen den Elektroden übergehen¹⁾.

Ganz ähnliche Erscheinungen, wie bei der Bildung der elektrischen Entladung zwischen zweien, frei in einem Gase einander gegenüber stehenden Elektroden, zeigen sich bei Umgebung derselben mit Glasröhren, so z. B. in den sogenannten Geißler'schen Spectralröhren; nur compliciren sich die Verhältnisse durch die Ladung der Glashülle, wie die folgenden Versuche zeigen.

Die Entladungsröhren bestanden für die ersten Versuchsreihen aus zwei Glaskugeln *a* und *b* (Fig. 2, Taf. II) von 39 Mm. Durchmesser, an welche einerseits Glashähne, anderseits Glasröhren von 6 Mm. Durchmesser und 30 Mm. Länge angesetzt waren. Oben waren in dieselben Platindrähte eingeschmolzen, die bis auf ihr Ende mit einer Glashülle umgeben waren und in der Mitte der Glaskugeln kugelförmige Elektroden von Aluminium von 4 Mm. Durchmesser trugen. Die Drähte endeten außerhalb der Röhren in kleinen, oben auf die Glaskugeln aufgeschmolzenen und mit Quecksilber gefüllten Trichtern, durch die die Leitung vermittelt wurde. Zwischen die an die Glaskugeln angesetzten Röhren wurden verschieden lange und weite Capillarröhren eingeschaltet, indem sie erst mit einem Kautschukring umgeben in die Glasröhren eingepreßt wurden, und sodann noch ein Kautschukschlauch über die Verbindungsstellen geschoben und daselbst festgeschnürt wurde. Die Fugen wurden mit geschmolzenem Kautschuk verstri-

1) Vgl. dagegen Riefs. Monatsber. d. Berl. Akademie 1875, 11. Febr. S. 148.

chen. Durch den einen Hahn wurden die Röhren mit der Jolly'schen Quecksilberluftpumpe, durch den anderen mit dem Trockenapparat (enthaltend concentrirte Schwefelsäure, resp. wasserfreie Phosphorsäure) und einem das verwendete Gas enthaltenden Gasometer verbunden. Die Röhren lagen parallel der Verlängerung der Axe der rotirenden Scheibe der Elektrisirmaschine in einem mit einem Glasdeckel versehenen Glaskasten, in welchem unterhalb ein flaches Gefäß mit Chlorcalcium aufgestellt war. Der Abstand y wurde, wie früher, durch Beobachtung des Spiegelbildes der Röhre in dem auf die Axe der Elektrisirmaschine aufgesetzten Spiegel mittelst der heliometrischen Vorrichtung bestimmt.

Hiebei ergaben sich die folgenden Resultate:

Reihen II bis V.

Capillarrohr I, innerer Durchmesser 1,092 Mm., Querschnitt 0,940 \square Mm. *Verschiedene Längen* dieses Rohres wurden zwischen die Glaskugeln mit den Elektroden eingefügt. Die Entladungsröhre wurde mit Wasserstoff gefüllt und für sich mit den gleich langen Elektroden der Elektrisirmaschine verbunden, von denen event. die eine oder die andere zur Erde abgeleitet war. Von Zeit zu Zeit wurde das Galvanometer in den Schließungskreis eingeschaltet, um die Constanz der Wirkung der Maschine zu prüfen, und gleichzeitig die Zahl z der Umdrehungen des Triebrades des Hydromotors bestimmt. Das Capillarrohr wurde für die aufeinanderfolgenden Reihen immer weiter verkürzt. Für alle Reihen betrug die Ablenkung des Galvanometerspiegels bei der Umdrehungszahl des Triebrades des Hydromotors $z = 52$ in der halben Minute stets $J = \pm 53$ bis 54.

Reihe II.

Länge 171,5 Mm.

Druck	(y) isol.	+ abgel.	— abgel.
1,1	9	10	10,5
4,1	12	(14)	12
10	15	(13)	16
18,2	17,5	(13,5)	21,3
25,2	18,5	15,4	24,7
31,4	19,5	16,7	27,5
40,2	21,9	18	32
52,6	25	—	35
69,4	26,5	—	41

Reihe III.

Länge 125,5 Mm.

Druck	isol.	+ abgel.	— abgel.
0,9	7,5	8,5	8,4
2,2	11,5	9,6	8,2
3,2	12,5	11,5	9,3
7,4	14	11,3	13
10,9	13	10	15,2
18,8	15,5	11,5	18,5
20,2	16	12,2	20,4
32,4	19	15,4	25,4
43,3	20,8	17,5	31,8

Reihe IV.

Länge 86 Mm.

Druck	isol.	+ abgel.	— abgel.
0,8	—	—	5,6
3,1	8	9,3	9,3
5,5	11,4	10,2	12,8
8,5	15	10,4	18,5
14,5	13,6	11	18,7
20,1	16,8	11	19
24,5	17,5	12,5	20
34,1	18,9	14,5	26

Druck	isol.	+ abgel.	— abgel.
42,7	18,8	16,5	30,8
44,1	19,5	17	31,2
47,9	19,2	17,5	35,5
61	21,8	20	39,5
68,4	23,6	—	—

Reihe V.

Länge 53 Mm.

Druck	isol.	+ abgel.	— abgel.
4,2	6,5	8,3	9,6
5,5	8	9,3	10
8,1	10,6	10,6	16,6
10,6	10,7	10,6	19,3
14,2	12,3	9,5	22
16,1	12	10	24,5
17,9	12,6	10,5	25,5
20	13,5	11	—
24	14,5	11	24
29	14,2	14	24
32,7	15	14	25,5
36,2	16	15,5	26,5
43	16	16	28,5
48,4	18	16,5	35
53,4	19,2	17	37,5
68,2	21,8	19,8	45,8

Reihen VI und VII.

Capillarrohr II, innerer Durchmesser 0,73 Mm., Querschnitt 0,418 □ Mm.; mit Wasserstoff gefüllt. Die Versuche wurden wie bei den Reihen II bis V ausgeführt. Die Ablenkung des Galvanometerspiegels betrug bei der Umdrehungszahl des Triebrades des Hydromotors $z = 50$ in der Secunde stets $J = 51$.

Reihe VI.

Länge 200 Mm.

Druck	isol.	+ abgel.	— abgel.
1,6	7	7	11,8
2,7	10,8	10,2	11,8
6,3	15	13,8	15,5
8,2	16,5	13,5	18,2
11,4	15,5	13,8	21
16,4	15,5	15	23,8
16,4	15	14,8	23,8
18,9	15	14	24
23	17	14,5	25
29,9	18	17	30,2
36	20	18,5	32,3
45	22,8	21,8	35,2
56,8	25,3	—	40
74,3	—	—	46,6

Reihe VII.

Länge 150 Mm.

Druck	isol.	+ abgel.	— abgel.
1,5	9,8	8,8	13,5
2,5	11,5	11,1	15
5,9	17,5	(16,5)	16
7,6	18,2	(16,5)	20
9,7	18	14,5	23,5
13,4	18	15	24,8
18	18	15,5	26,5
25	18,8	17	30,3
28	19,3	17,5	32,5
36	20,8	21,5	38
41,6	23	22,5	39
51	26	(26)	41,3
55,4	29	(30)	43,1
66,4	31	—	46,3
72,4	33	—	48,5

Reihen VIII bis IX.

Capillarrohr II; innerer Durchmesser 0,73 Mm.; Querschnitt 0,418 \square Mm. Die Entladungsröhren wurden ganz ähnlich, wie der Entladungsapparat in der Reihe I, in den Stromkreis eingefügt, so daß also die eine Elektrode derselben abwechselnd mit der positiven oder negativen Elektrode der Elektrisirmaschine verbunden, die andere Elektrode durch das Galvanometer zur Erde abgeleitet war. Die nicht verbundene Elektrode der Elektrisirmaschine war ebenfalls abgeleitet.

Reihe VIII.

Länge des Capillarrohres 150 Mm.

Druck	+ abgel.	— abgel.	Druck	+ abgel.	— abgel.
1	10,5	13	27,2	15,2	29,7
3,2	13	13,5	35,4	17	35,5
6,4	13,3	16,5	41,3	19	37,6
10,1	13,5	20	46,4	(19,5)	38
14,3	13,5	24	52,6	(21,8)	39,5
18,8	13,5	(27)	61,5		44
23	14,2	28			

Reihe IX.

Länge 100 Mm.

Druck	+ abgel.	— abgel.	Druck	+ abgel.	— abgel.
9	12	17	42,2	17,6	38,5 (37,5)
14	12,5	21	48,2	21,3	40,4 (38,3)
19	12,6	23,6	55,4	21,8	43,4 (41,6)
26,7	15,2	30,2	64	23,5	44,5 (42,6)
36,3	16	34,8			

Reihen X bis XIII.

Capillarröhren von 70 Mm. Länge und *verschiedenem* Querschnitt: 1) von kreisförmigem Querschnitt: No. III von 0,75 Mm. Durchmesser und 0,402 \square Mm. Querschnitt; No. IV von 1,104 Mm. Durchmesser und 0,957 \square Mm. Querschnitt; No. V von 2,10 Mm. Durchmesser und 3,47 \square Mm. Querschnitt. 2) No. VI von flachelliptischem Querschnitt, Flächeninhalt desselben 0,441 \square Mm. Die

Vers
und

No. III

Druck

0,8

2,8

3,7

5,9

9,3

13,9

17,1

19,7

24,3

29,4

38,2

43,5

54,1

58,9

64,9

Versuchsmethode war dieselbe, wie bei den Reihen VIII und IX.

Reihe X.

No. III. Durchmesser 0,75 Mm.

Druck	+ abgel.	— abgel.
0,8	6,2	6,3
2,8	8,5	9,5
3,7	12	12,8
5,9	13,8	15
9,3	12,5	17,3
13,9	13	21,4
17,1	—	23,7
19,7	14,5	26
24,3	14,5	28,4
29,4	15,5	30,5
38,2	16,5	32,6
43,5	18	36,2
54,1	20,2	37
58,9	21	40
64,9	22	41,8

Reihe XI.

No. IV. Durchmesser 1,104 Mm.

Druck	+ abgel.	— abgel.
1,8	—	5,2 (4,9)
4,2	(10,5)	10,2 (9,6)
6,4	(10,5)	11,6 (11,0)
9,2	(10,5)	17,2 (16,3)
14,1	(12,5)	21,8 (20,6)
15,1	(12,5)	23,2 (21,9)
19,8	12,5	25,5 (24,1)
27,2	14	27 (25,5)
38,3	16,5	29,2 (27,5)
55,2	18,5	35,5 (33,1)
61,2	20	38,5 (36,3)
71,5	23	45,4 (43,8)

Reihe XII.

No. V. Durchmesser 2,1 Mm.

Druck	+ abgel.	— abgel.
2,2	—	7 (6,1)
5,4	9,4	12,2 (10,7)
11,2	13	16,6 (14,6)
14,5	13,5	20 (17,6)
18	13,5	21,2 (20,4)
25	15,2	26,2 (23,0)
29,3	—	31,2 (28,0)
31,9	21	33 (29,0)
35,7	23,5	35 (31,3)
45,5	32,3	38,3 (33,6)
49,2	33,5	43 (37,7)
60,7	40	54 (47,4)

Reihe XIII.

No. IV. Elliptische Röhre.

Druck	+ abgel.	— abgel.
1,8	12,5	13,5 (11,8)
3,9	13	14,2 (12,4)
9,9	12,5	17,2 (15,0)
12,9	12,5	17,8 (15,5)
17,9	13	21 (19,6)
22,5	15,5	24,9 (21,7)
31,5	16,5	30 (26,2)
38,8	20,5	32,5 (28,3)
45,5	21,5	35,5 (31,0)
55,5	22,5	43,6 (38,9)
68,3	25	49 (42,7)

Reihen XIV bis XV.

Die Capillarröhre (No. III) von 0,402 mm. Durchmesser und 148 Mm. Länge wurde zwischen *verschieden große Glaskugeln* eingefügt, welche die kugelförmigen Aluminiumelektroden von 4 Mm. Durchmesser umgaben. Als abgeleitete Elektrode des Entladungsapparates diente stets dieselbe, welche schon in den früheren Reihen gedient hatte und von einer Glaskugel von 39 Mm. Durchmesser eingeschlossen war. Bei der Reihe XIV war die nicht abgeleitete, mit der Maschine verbundene Elektrode von einer Glaskugel von 50 Mm., bei der Reihe XV von einer solchen von 25 Mm. Durchmesser umgeben.

Reihe XIV.

Glaskugel 50 Mm. Durchmesser.

Druck	+ abgel.	— abgel.
1,6	6,5	10,6 (9,2)
2,2	10	11,5 (10,1)
5,9	14,5	15,5 (13,4)
7,8	15	18 (15,6)
10,6	15	21,5 (18,7)
12,7	15	22,8 (19,8)

Druck	+ abgel.	— abgel.
17,4	16	33,5 —
21,7	20	35 —
25,5	23	32,1 (27,9)
34,3	21	35,5 (30,8)
44,5	23	40,5 (35,2)
49,3	24,5	42,7 (37,1)
54,7	26,5	47,8 (41,3)
73,3	—	52(?) (45,2)

Reihe XV.

Glaskugel 25 Mm. Durchmesser.

Druck	+ abgel.	— abgel.
0,8	12,2	12,5 (10,5)
3,9	—	17 (10,9)
5,3	15	17 (11,4)
6,1	15,8	15 (13,1)
8	16	16,2 (13,6)
10,6	15,8	28,2 (15,3)
13,9	15	19 (16,0)
19,7	15	22 (18,5)
22,3	15	24,5 (20,6)
26,9	15	26 (21,9)
32	16	26,5 (22,3)
36,3	—	28 (23,6)
43,1	—	32,2 (27,1)
45,8	—	35,5 (29,8)

Die Entladungen der letzten Reihe waren, namentlich bei Ableitung der positiven Elektrode, etwas unstät.

Wurde die Richtung der Entladung plötzlich gewechselt, so waren in den ersten Zeiten die Abstände der Entladungen etwas kleiner, wuchsen aber bald zu einer constanten GröÙe an.

Reihen XVI und XVII.

Entladungsapparat ähnlich, wie der in Reihe II benutzte; nur war das Capillarrohr von 150 Mm. Länge und 1 Mm.

Weite fest mit den die Elektroden enthaltenden Glaskugeln verschmolzen.

Die positive Elektrode der Elektrisirmaschine wurde direct mit der einen, die negative unter Einschaltung des Galvanometers mit der anderen Elektrode der Entladungsröhre verbunden. In demselben Rohre wurde Luft und Wasserstoff untersucht. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe der Elektrisirmaschine blieb stets die gleiche. Die in Klammern der dritten Columne der Tabellen beigefügten Zahlen geben die auf die Intensität 60 reducirten Entladungsabstände.

Reihe XVI.

Luft.

Druck	Intens.	Y
0,4	62	7,3 (7,4)
1,4	60	10,5 (10,5)
3,2	59	13,3 (13,4)
4,3	62	15,7 (16,2)
7,4	59	17,4 (17,1)
11,2	62	19,3 (19,9)
15,6	58	20,6 (19,9)
18,7	59	21,8 (21,4)
21,3	59	21,9 (21,5)
26,6	58	22,4 (21,6)
30,3	58	34,3 (33,1)
35,5	58	36,8 (35,6)
43,4	56	39,4 (36,7)
47,3	58	40,8 (39,4)
53,5	62	41,1 (42,5)

Reihe XVII.

Wasserstoff.

Druck	Intens.	Y
0,5	55	7,4 (6,8)
2,3	55	11 (10,1)
5,7	59	10,5 (10,3)
12,3	58	14,5 (14,0)

Druck	Intens.	Y
18,3	57,8	14,8 (14,3)
25,8	57	16,7 (15,9)
31,9	57	17,3 (16,4)
38,9	57,5	18,4 (17,6)
49	56,5	25 (24,1)
68,8	56,5	33,5 (31,3)

Die vorstehenden Beobachtungsergebnisse sind zum Theil auf beifolgender Curventafel (Taf. II) verzeichnet, auf welcher die Abscissen die Drucke, die Ordinaten die auf gleiche Stromintensität reducirten Entladungsabstände, wie sie in den Tabellen in Klammern neben den direct beobachteten Werthen angegeben sind, bedeuten. Die Curven sind mit den Nummern der ihnen entsprechenden Reihen bezeichnet.

Aus den vorhergehenden Versuchen folgt zunächst das gleiche Resultat, wie bei der Entladung zwischen zweien in einem größeren Raum einander gegenüberstehenden Elektroden. Die Elektrizität gleicht sich in einzelnen, äußerst kurze Zeit dauernden Entladungen zwischen den Elektroden aus. Und zwar ist, wenn die gesammten, in der Zeiteinheit durch den Entladungsapparat hindurchgegangenen Elektrizitätsmengen gleich sind, die bei Ableitung der positiven Elektrode in jeder Entladung entladene Elektrizitätsmenge kleiner als bei Ableitung der negativen Elektrode, so daß also die zur Einleitung einer Entladung für die positive Elektrizität erforderliche Ladung größer ist, als für die negative.

Sodann nähert sich bei zunehmenden Drucken die bei jeder Entladung übergeführte Elektrizitätsmenge zuerst schnell, dann langsamer einem bestimmten Werth, welcher bei etwa 20 bis 30 Mm. Druck erreicht ist. Bei etwas weiter gesteigertem Druck wächst die zu einer Entladung erforderliche Elektrizitätsmenge wesentlich schneller und nimmt dann ziemlich proportional mit dem wachsenden Drucke zu.

Betrachtet man hiebei die äußere Erscheinung der Entladungen, so breitet sich bei geringen Drucken die positive, wie die negative Entladung zuerst ziemlich gleichmäßig nach allen Seiten nebelartig aus; bei stärkeren Drucken zieht sie sich gegen die Elektrode nach und nach zusammen, concentrirt sich dabei auf der der verbindenden Glasröhre zugekehrten Seite und bildet so allmählich ein gegen letztere hin sich erweiterndes Conoïd, in welchem indess bei nicht allzu hohem Druck noch keine Metallentladungen, weder direct noch durch das Spectroskop, wahrzunehmen sind. Dieses Conoïd verdichtet sich bei stärkerem Druck namentlich an der positiven Elektrode auf einen immer kleineren Ausgangspunkt und wird immer dünner, bis es zuletzt einen feinen, scharf gezeichneten, in die Röhre hineinlenkenden Strahl bildet, während die Entladung an der negativen Elektrode immer noch eine etwas breitere Ausdehnung bewahrt. Die Röhre selbst ist von einem hellen Lichtstrahl erfüllt, der bei höheren Drucken Schichtungen zeigen kann. Bei der Ableitung der einen oder anderen Elektrode der Maschine ändern sich die Erscheinungen ein wenig. Im Allgemeinen verengt sich bei Ableitung der negativen Kugel das Conoïd an der positiven Elektrode des Entladungsapparates zu einem feineren Strahl, während an der negativen die nebelartige Entladung um die Elektrode selbst concentrirt und das gegen die Röhre gerichtete Conoïd diffuser und dunkler wird. Bei Ableitung der positiven Elektrode der Maschine wird bei kleinen Drucken das Conoïd an der positiven Elektrode des Entladungsapparates dunkler und diffuser, während an der negativen die nebelartige, nach allen Seiten gehende Entladung mehr conoïdisch gegen die Verbindungsröhre gerichtet und schärfer begränzt erscheint.

Der helle Lichtstrahl im Verbindungsrohr selbst rückt bei Ableitung der positiven Elektroden der Maschine und des Entladungsapparates bei Drucken von etwa 2 Mm. in einem scharf begränzten Strahl ein wenig in die negative

Glas
lirter
rates
hine
Elek
tiven
und
läng
ist i
des
tet,
des
sche
dem

ten
chen
gigk
stell
nen
inne
um
men
zeln
vorh
lang
der
mini
nähe
dun
der

Zun
derl

Glaskugel hinein; unter höheren Drucken, wo er bei isolirter Verbindung beider Elektroden des Entladungsapparates mit denen der Maschine bis in die negative Kugel hineinragt, zieht er sich durch Ableitung der positiven Elektrode bis an das Glasrohr, durch Ableitung der negativen Elektrode bis 2 bis 3 Mm. in das Glasrohr hinein und ist dabei stets an seinem Ende scharf begränzt. Bei längeren und engeren Röhren und höheren Drucken (50 Mm.) ist in letzterem Fall nur ein größeres oder kleineres Stück des Rohres von der positiven Elektrode an hell beleuchtet, während der der negativen Elektrode zugekehrte Theil des Rohres dunkler erscheint. Die Uebergangsstelle zwischen dem hellen und dunklen Theil rückt bei zunehmendem Druck immer weiter gegen die positive Elektrode vor.

Abgesehen von den oben erwähnten Unregelmäßigkeiten liegen die Curven, welche für die Röhren von gleichem Querschnitt, aber verschiedener Länge, die Abhängigkeit der Abstände der Entladungen vom Druck darstellen, sehr nahe an einander, so daß also im Allgemeinen *die für eine Entladung erforderliche Elektrizitätsmenge innerhalb gewisser Gränzen von der Länge des die Räume um die Elektroden verbindenden Rohres unabhängig ist.*

Jedenfalls ist eine Proportionalität jener Elektrizitätsmengen mit den Längen oder auch nur den Quadratwurzeln der Längen der Verbindungsrohren u. dglm. nicht vorhanden; die Abweichungen der für die verschiedenen langen Röhren erhaltenen Werthe können sehr wohl von der größeren Wechselwirkung der Elektricitäten der Aluminiumkugeln des Entladungsapparates bei größerer Annäherung und der etwas abweichenden Form der Entladung, sowie auch von dem nicht ganz gleichen Abfall der freien Spannung in den Röhren herrühren.

Auch bei *verschieden weiten Röhren ändert sich mit Zunahme des Querschnittes die für eine Entladung erforderliche Elektrizitätsmenge innerhalb gewisser Gränzen nur*

wenig, sowohl bei den flachen, wie den kreiscylindrischen Röhren. Auch hier können die Abweichungen von der vollständigen Gleichheit darauf zurückgeführt werden, daß bei den engeren Röhren die positive Entladung sich auf einen kleineren Querschnitt concentriren muß, und die auf der inneren Wand der Capillarröhren aufgehäuften, auf die Elektrode rückwirkenden Elektricitätsmengen etwas verschieden sind. Endlich zeigen sich auch bei Vergleichung der Resultate der Reihen VIII und XIV die für eine Entladung erforderlichen *Elektricitätsmengen bei verschieden weiten kugelförmigen, die Elektroden umgebenden Glashüllen* innerhalb gewisser Gränzen *nicht bedeutend von dem Radius derselben abhängig*. Nur bei kleineren Glashüllen (Reihe XV) werden jene Elektricitätsmengen kleiner; wie schon an der Form der Entladung ersichtlich ist, in Folge der gröfseren Nähe der in der Verbindungsröhre angehäuften, weniger dichten Elektricitäten.

Endlich sind analog, wie sich schon bei den Entladungen im freien Gasraume ergeben hat, bei gleichem Druck und gleicher Stromintensität *die Entladungsabstände in der Luft gröfser, als im Wasserstoff*.

Die Begründung der soeben mitgetheilten Erfahrungen läfst sich im Allgemeinen aus den schon in der ersten Abhandlung abgeleiteten Sätzen entnehmen.

Werden die Elektroden der Entladungsröhre mit den Zuleitern der Elektrisirmaschine verbunden, so laden sich bald die ihnen gegenüber stehenden Wände der umhüllenden Glaskugeln mit der gleichnamigen Elektricität, die sich mit abnehmender Dichtigkeit auch bis in die Verbindungsröhre der Glaskugeln ausbreitet (s. w. u.).

Bei sehr geringen Drucken des Gases bedarf es zu jeder einzelnen Entladung nur einer geringen Ladung der Elektroden; die Ladung der Glaskugeln kann nur wenig dicht, ebenso der Abfall der Elektricitäten im Verbindungsrohr nur klein seyn. In diesem ist also, nament-

lich nahe den Glaskugeln, die elektrische Dichtigkeit nur wenig von der Dichtigkeit der Elektricität auf letzteren verschieden. So geht die Entladung ziemlich gleichmäßig nach allen Seiten von den Elektroden aus. Da außerdem eine gleichmäßig elektrische Hülle auf einen elektrischen Punkt im Innern nicht wirkt, können die von den Elektroden sich entfernenden elektrisirten Gastheile die Glaskugeln ziemlich vollständig erfüllen. — Wird der Druck stärker, also die zur Entladung erforderliche Elektricitätsmenge größer, so fällt von der die Elektrode umgebenden Glashülle die Spannung der Elektricität an den Wänden der Glasröhre schneller bis zur zweiten Elektrode ab, die Elektroden sind nicht mehr überall von nahezu gleichförmig geladenen Wänden umgeben. Hierdurch wird auch die Vertheilung der Elektricität auf der Elektrode vor der Entladung geändert; sie wird bei gleicher Gesamtladung auf der der Röhre zugekehrten Seite dichter. An letzterer Stelle wird also bei weiterer Elektricitätszufuhr eher das zum Beginn der Entladung erforderliche Maximum erreicht, als an den anderen Stellen der Elektrode, und die Entladung geht nur von jener Stelle aus. Da sich aber zugleich dieses Maximum unter gleichen Bedingungen bei dieser Vertheilung an der betreffenden Stelle bei einer kleineren Gesamtmenge der Elektricität herstellt, so muß, wenn mit gesteigertem Druck jene Stelle immer kleiner wird, die zu einer Entladung erforderliche Elektricitätsmenge immer langsamer wachsen; die Entladungscurve nähert sich also mehr und mehr dem Parallelismus mit der Abscissenaxe; ihre Ordinaten nähern sich einem constanten Werth. Ist endlich die Ausgangsstelle der Entladungen bei zunehmendem Drucke auf ein Minimum beschränkt, so sind bei noch mehr gesteigertem Drucke letzterem entsprechend wieder fortschreitend größere Elektricitätsmengen zum Beginn einer Entladung erforderlich; die Entladungscurve steigt wieder schneller an.

Da nun bei Ableitung der negativen Elektrode überhaupt die zur Erzeugung einer Entladung erforderlichen

Elektricitätsmengen größer sind, als bei Isolation beider Elektroden oder Ableitung der positiven, so müssen im ersteren Falle diese Verhältnisse stärker hervortreten, als in den letzteren Fällen.

Kann man die soeben betrachteten secundären Umstände, die Wirkung der im Verbindungsrohr allmählich abfallenden Elektricitäten und die Wechselwirkung der entgegengesetzten Elektricitäten in der Umgebung beider Elektroden, vernachlässigen, so ist die zu einer Entladung erforderliche Elektricitätsmenge bei constantem Druck nur von den Verhältnissen der Umgebung der Elektroden selbst bedingt. Dann muß diese Elektricitätsmenge von der Länge und dem Querschnitt des Verbindungsrohres unabhängig seyn, wie es die Versuche innerhalb gewisser Gränzen ergeben.

Da endlich die Kraft, welche auf einen elektrisirten Punkt im Innern einer kugelförmigen, im vorliegenden Fall gleichnamig elektrischen Hülle ausgeübt wird, bei gleichförmiger Vertheilung der Elektricität auf der Hülle von dem Radius derselben unabhängig gleich Null ist, so muß auch, wenn sich die Hülle einmal geladen hat und wenn nicht secundäre Umstände auftreten, die zu einer Entladung erforderliche Elektricitätsmenge von dem Radius der Hülle unabhängig seyn. Diesem Resultat entsprechen im Allgemeinen die Beobachtungen. Daß bei engeren Hüllen kleinere Elektricitäten erforderlich sind, als diesem Satz entspricht, hat seinen Grund in der größeren Nähe der schnell abfallenden Elektricitäten der Verbindungsrohre an der Elektrode, wodurch die oben erwähnten Bedingungen wesentlich abgeändert werden.

Bei verschieden großen Elektroden muß, wenn die Entladung nach allen Seiten gleichmäßig ausgeht und die Spannung der freien Elektricitäten auf allen Punkten der Elektrode die gleiche ist, die zu jeder einzelnen Entladung erforderliche Elektricitätsmenge der Oberfläche der Elek-

troden proportional seyn, wie dies von Hittorf für cylindrische Elektroden in cylindrischen Glashüllen bewiesen worden ist (s. w. u.).

Wenn es nach den vorliegenden Versuchen feststehen dürfte, daß die Entladungen durch die Gase stets in einzelnen, sehr kurz dauernden Ausgleichungen bestehen, für deren Beginn bei den entgegengesetzten Elektricitäten eine verschieden starke Ladung erforderlich ist, so erschien es außerdem nöthig, um die Art, in welcher sich die Elektricitäten in der Gasentladung ausgleichen, noch etwas näher zu ergründen, auch die *Wärmeerzeugung*, zunächst in dem die Glashüllen um die Elektroden verbindenden Glasrohr, zu untersuchen.

Hierzu wurden Entladungsröhren angewendet, welche den S. 42 beschriebenen (Fig. 2, Taf. II) ganz ähnlich waren. Dieselben wurden in den Glaskasten (S. 6) eingelegt. Auf die oberen Ränder des Kastens war mittelst Nuthen quer ein Holzbrett (Fig. 3) aufgelegt und daselbst durch einen den Glaskasten umfassenden Kautschukring festgehalten. Das Brett *A* trug einen aus Holzstäbchen gebildeten Bügel, in dem sich ein verticaler Messingstab *c* verschob. Durch einen in eine verjüngte Stelle desselben eingreifenden Vorreiber *d* konnte der Stab *c* in seiner höchsten Stellung festgehalten werden. Unterhalb trug er einen Messingbügel *e*. Eine Spiralfeder *f* diente dazu, den Bügel abwärts zu drücken. Die verticalen Enden des Bügels waren von viereckigen Löchern durchbohrt, in denen zwischen zwei Elfenbeinkeilen vermittelt seitlicher, die Keile zusammen pressender Schrauben die Enden eines Thermoelementes festgeklemmt waren. Dasselbe bestand aus zwei 0,5 Mm. dicken Drähten von Eisen und Neusilber, welche in die Mitte zwischen den Enden des Bügels mit ihren Querschnitten aneinander gelöthet waren. Die freien Enden der Drähte waren mit Kupferdrähten verlöthet, die zum Galvanometer führten. Die Löthstellen

waren, um ihre Temperatur constant zu erhalten, in ein Glas *g* voll Oel gesenkt. Einer der Kupferdrähte war hiebei mit der Erde verbunden, um die elektrische Ladung des Galvanometers durch die auf der Oberfläche der Entladungsröhren angehäuften Elektrizität zu verhindern. Vorläufige Versuche zeigten, daß die Ableitung, auf welcher Seite der Löthstelle sie auch stattfand, den Ausschlag des Galvanometerspiegels nicht änderte. Ein ∞ -förmiges Schutzblech war um das Thermoelement herumgelegt, während es in seiner höchsten Lage war, um es vor der Strahlung von der Entladungsröhre her zu schützen.

Nachdem der Strom der Elektrisirmaschine hinlängliche Zeit durch die Entladungsröhre geleitet war, wurde das Schutzblech entfernt und das Thermoelement auf die Röhre hinabgelassen, die mit seiner Längsaxe einen Winkel von 90° machte.

Bei jedem Versuch wurde der Druck des Gases, die Intensität des Stromes der Elektrisirmaschine, die Zahl der Umdrehungen des Triebbrades des Hydromotors, der Abstand der Entladungen und die den Temperaturerhöhungen des Thermoelementes entsprechende Ablenkung des Galvanometerspiegels bestimmt. Ein einfacher Commutator mit Quecksilbernäpfen gestattete hierzu, abwechselnd die eine Elektrode der Entladungsröhre oder die eine Elektrode des Thermoelementes mit dem einen Ende des Drahtes des Galvanometers zu verbinden, während im ersten Fall das andere Ende dieses Drahtes zur Erde, im zweiten mit der zweiten Elektrode des Thermoelementes verbunden war. Mit der endgültigen Bestimmung wurde stets so lange gewartet, bis sich bei wiederholtem Anlegen des Thermoelementes constante Resultate ergaben. Dabei wurde die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe der Maschine und entsprechend die Stromintensität während des ganzen Versuches möglichst constant erhalten.

Bei der Länge der Zeit (15 bis 20 Minuten), die jeder Versuch vor den definitiven Ablesungen erforderte, war es in Folge der nicht selten vorkommenden, zufälligen

Störungen des Wasserzuflusses zum Hydromotor, der Aenderungen der Stellung des ziemlich stark astasirten Magnet-
spiegels u. s. f. nicht ganz leicht, sehr genaue Resultate zu
erzielen. Indefs stimmten doch wiederholte, unter gleichen
Bedingungen angestellte Beobachtungen recht gut miteinan-
der überein.

Die folgenden Tabellen enthalten einige der so gewon-
nenen Resultate. Die Columnen geben unter p den Gas-
druck, unter J die Intensität des Elektricitätsstromes, unter
 z die Zahl der Umdrehungen des Triebades des Hydro-
motors in 30 Secunden, unter t die der Temperaturerhö-
hung des Thermoelementes entsprechenden Ablenkungen
des Galvanometerspiegels, unter y den im rotirenden Spiegel
beobachteten Abstand der Entladungen. Die Co-
lumnen t_1 und y_1 enthalten die Werthe, welche sich für t
und y ergeben würden, wenn die Intensität des Elektrici-
tätsstromes bei 50 Umdrehungen des Triebades des Hy-
dromotors in 30 Secunden gleich 80 wäre:

$$\{t_1 = t \frac{80}{J}; y_1 = y \cdot \frac{J}{80} \cdot \frac{50}{z} \text{ (s. w. u.)} \}.$$

Reihe XVIII.

Die Entladungsröhre war mit Wasserstoff gefüllt. Das
Capillarrohr zwischen den die Elektroden enthaltenden
Glaskugeln hatte 130 Mm. Länge und 1 Mm. Durchmesser.
Beide Elektroden waren isolirt mit der Maschine ver-
bunden, das Galvanometer wurde nur zeitweise in den
Entladungskreis eingeschaltet. Die Umdrehungszahl z war
constant 50.

p	J	y	y_1	t	t_1
1,1	46	2,3	1,3	17,5	30,4
4,6	44	6,6	3,6	36	65,5
7,5	43	7,6	4,2	56,8	105,6
19,6	43	13,2	7,1	95	176,7
29,6	43	17,7	9,5	130	241,8
42,2	42	22	11,5	155	295,2
52,7	40,5	23,1	11,7	175	345,6
69,5	41	28,8	14,8	226	441

Reihe XIX.

Dasselbe Rohr, gefüllt mit Luft. Andere Einstellung des Galvanometers; daher sind die Beobachtungen nicht mit denen der Reihe XVIII zu vergleichen. Positive Elektrode abgeleitet.

p	J	z	y	y_1	t	t_1
1,2	36,5	48	7,5	3,5	17,5	38,3
2,4	36,2	48	11,2	5,9	23	50,8
3,9	36	48	13,2	6,5	31,5	70,0
7,9	34	48	13,3	5,9	51	120,0
12,6	33	49	13,5*	5,7*	69	167,3
20	34	49	13,5*	5,8*	100	235,3
29	35,5	48	18	8,7	121,5	273,8
36	34	51	32	13,3	136	320,0

* Entladungen sehr unstät.

Reihen XX und XXI.

Zwischen die die Elektroden der Entladungsröhre enthaltenden Glaskugeln (s. auf S. 42) war ein Capillarrohr von 1,44 Mm. Durchmesser und 178 Mm. Länge eingesetzt. Die Röhre wurde mit Stickstoff gefüllt. Die Astasirung des Galvanometers war eine andere, wie bei den vorherigen Reihen.

Reihe XX.

p	J	z	y	y_1	t	t_1
3,2	72	48	12	11,2	50	55,5
6,3	72	48	15	14,1	62	70,5
11,1	71	48	16	14,8	85,5	99,0
16,1	69	48	19	17,1	127	147,2
20,4	67,5	47	31,5	28,2	128	151,7
25,5	68,5	48	30?	27,3	140,5	164,1
29,5	70	49	33	29,4	155	177
35	69	48	34	30,5	178,2	206,6
43,6	65,5	48	34	29,0	206	251,7
55	64	48	35	29,2	248	310

Reihe XXI.

p	J	z	y	y_1	t	t_1
3,4	78	49	12,5	12,4	56,5	57,9
8,1	82	52	15,5	15,3	98	95,6
13,8	82	51	15,5	15,6	132	131,8
22,2	76	52	30	27,4	144	151,7
26	80	50	35?	34,8	166,5	166,5
30,4	81,8	51	35,5	35,1	183	178,9
38	77	51	38	35,9	200	207,8
48	73	51	41	36,7	243	266,3

Bei den letzten beiden Beobachtungen der Reihe XX und der letzten der Reihe XXI fand vor der Eintrittsstelle der Elektrizität in die Entladungsröhre ein seitliches Ausströmen derselben statt; dem entsprechend ist die Intensität J des Elektrizitätsstromes im Rohr selbst verkleinert. Die Beobachtungen der Entladungsabstände y waren ziemlich unsicher.

Reihen XXII und XXIII.

Es wurde derselbe Entladungsapparat, wie für die vorigen Reihen, verwendet: nur wurde die Capillarröhre nach einander auf die Längen 178 Mm. und 106 Mm. gebracht. Der Apparat war mit Wasserstoff gefüllt. Das Galvanometer war unverändert in gleicher Weise astasirt, wie bei den Reihen XX und XXI.

Reihe XXII.

Capillarrohr 178 Mm. lang.

p	J	z	y	y_1	t	t_1
6,7	81,5	50	10	10,2	67	65,8
14,1	82,5	50	10,5	10,8	132	128,0
22	79	51	13,5	13,1	150	151,9
30	78,5	51	14,5	14,0	179	182,4
41,3	80	51	28	27,5	216	216,0
50	77	50	32	30,8	238	247,4
57,8	79	50	35,5	35,0	264	267,4
74	70	51	(?)	(?)	267	305,2

Reihe XXIII.

Capillarrohr 106 Mm. lang.

p	J	z	y	y_1	t	t_1
3,5	86	51	9,5	10	40	37,2
7,7	78	49	8,2	9,6	73	74,9
16	85	49	11,5	12,5	130,5	122,0
23,2	85	48	11,6	12,8	161	152,0
38	83,5	52	15	15,1	218	208,9
48,2	83,5	49	27	28,8	239	229,0
56,7	86	51	32,5	34,3	271	252,2
70,3	83	50	43	44,6	282	271,6

Reihen XXIV und XXV.

Capillarröhren von 1,5 Mm. innerem und 5,6 Mm. äußerem Durchmesser und 177 Mm. und 105 Mm. Länge zwischen den früher angewandten Elektroden. Der Apparat war mit Wasserstoff gefüllt, die positive Elektrode zur Erde abgeleitet. Nach dem Abheben des Thermoelementes von der Capillarröhre wurde zwischen beide kein Schutzblech geschoben, dagegen wurde der ganze, die Röhre und das Thermoelement enthaltende Glaskasten durch hohe Pappwände allerseits gegen etwaige Luftströmungen sorgfältigst geschützt. Es konnte zwar hiebei der Entladungsabstand nicht bestimmt werden, indess waren die Wärmemessungen dadurch noch regelmäßiger und sicherer, als in Reihe XXII und XXIII. Die Resultate sind also mit denen der vorigen Reihen nicht vergleichbar.

Reihe XXIV.

Capillarrohr 177 Mm. lang und 1,5 Mm. weit.

p	J	z	t	t_1
4,2	88	52	34	29,5
15,8	88,5	51	93	84,1
30,2	88	52	140	127,3
47,3	82	50	166	162
62,5	82,5	49	193	187
72	79	49	207	210

Reihe XXV.

Capillarrohr 105 Mm. lang und 1,5 Mm. weit.

t_1	p	J	z	t	t_1
37,2	5,6	85,2	49	35	33
74,9	20,2	83	49	97	93
22,0	36,4	79,5	47	139	140
52,0	52	80	47	163	162
08,9	61,5	80	49	186	192
29,0	80,6	79	45	212	215
52,2					
71,6					

Reihen XXVI und XXVII.

Der Entladungsapparat wie in den vorigen Reihen; nur wurde ein Capillarrohr von 0,74 Mm. innerem und 5,25 Mm. äußerem Durchmesser und resp. 177 und 105 Mm. Länge verwendet. Die Reihe t_{II} enthält die Werthe, welche durch Multiplication von t_1 mit dem Verhältniß der Oberflächen der in Reihen XXVI und XXVII einerseits und der in Reihen XXIV und XXV andererseits verwendeten Röhren erhalten sind, also die Werthe $t_{II} = \frac{5,25}{5,6} t_1$.

Reihe XXVI.

Capillarrohr 177 Mm. lang und 0,74 Mm. weit.

p	J	z	t	t_1	t_{II}
3,5	78	51	43	44	41,3
19,2	75	54	96	102	96,0
34	81,7	51	153	150	140,5
50,7	80	50	183	183	167

Reihe XXVII.

Capillarrohr 105 Mm. lang und 0,74 Mm. weit.

p	J	z	t	t_1	t_{II}
4	73	45	39	43	40,1
14	88,7	52	101	91	85,4
23	88	—	134	122	114,2
40,1	86,2	50	184	173	162
54	86,7	48	224	216,5	193,7
85	75	—	224	239	224

Reihe XXVIII.

Zwischen die die Elektroden umgebenden Glaskugeln wurde ein Capillarrohr von 180 Mm. Länge und 1,5 Mm. innerem und 5,6 Mm. äußerem Durchmesser eingefügt. Die Erwärmung desselben wurde abwechselnd nahe der die positive und der die negative Elektrode enthaltenden Glaskugel gemessen. Die mit der Elektrisirmaschine verbundene Elektrode ist mit *a*, abgeleitete mit *b* bezeichnet.

Elektrode						
<i>a</i>	<i>p</i>	<i>J</i>	<i>z</i>	<i>t</i>	<i>t_n</i>	
+	56	91,5	54	160	141	} nahe <i>a</i>
—	"	87	53	180	165	
—	"	86	52	170	158	} nahe <i>b</i>
+	"	85	50	147	138	

Reihen XXIX und XXX.

Das zwischen die Elektrodenkugeln eingefügte Capillarrohr bestand aus zwei in einer geraden Linie liegenden und an einem Ende mit einander zusammengeschmolzenen Röhren von je 85 Mm. Länge und (*A*) 1,43 Mm. innerem und 5,5 Mm. äußerem Durchmesser und (*B*) 0,73 Mm. innerem und 5,2 Mm. äußerem Durchmesser. Die negative Elektrode der Elektrisirmaschine war mit der isolirten Elektrode *a* des Entladungsapparates verbunden, die andere Elektrode *b* desselben abgeleitet. Es wurde die Temperaturerhöhung etwa in der Mitte einer jeden der beiden Röhrenhälften bestimmt. Der Werth t_n ist $t_n = \frac{5,2}{5,5} t_1$.

Reihe XXIX.

Die Hälfte *A* des Capillarrohres an *a*, Hälfte *B* an *b*.

Thermoelement an	<i>p</i>	<i>J</i>	<i>t</i>	<i>t₁</i>	<i>t_n</i>
<i>B</i>	17,9	79,2	100	101	95,5
<i>A</i>	17,9	76,5	90	94	—
<i>A</i>	46	70,7	148	157	—
<i>I</i>	46	75,5	155	164	155

Reihe XXX.

Die Hälfte *B* des Capillarrohres an *a*, die Hälfte *A* an *b*.

Thermoelement an	<i>p</i>	<i>J</i>	<i>t</i>	<i>t_i</i>	<i>t_{II}</i>
<i>B</i>	18,6	77	101	105	99,1
<i>A</i>	18,6	75,1	90	93	—
<i>A</i>	36,8	74	140	152	—
<i>B</i>	36,8	72	153	170	160,7

Da der Durchgang der Elektricität durch die Entladungsröhren in einzelnen Entladungen erfolgt, zu deren Beginn eine bestimmte Ladung der Elektroden erforderlich ist, und also die Zahl der Entladungen in der Zeiteinheit der Menge *J* der in derselben den Elektroden zugeführten Elektricität entspricht, so muß die unter gleichen Umständen durch die Entladungen erzeugte Wärmemenge *J* proportional seyn, es läßt sich also die einer bestimmten Intensität *J*, z. B. 80 entsprechende Wärmemenge *t_i* durch Multiplication der beobachteten Wärmemenge *t* mit $80 / J$ berechnen.

Die Temperatur der Capillarröhren wird constant, wenn die durch die Entladungen von Innen zugeführte Wärme der auf der Oberfläche der Röhren ausgestrahlten und an die Luft abgegebenen gleich ist. Da letztere innerhalb der engen Temperaturgränzen bei den Versuchen für die Längeneinheit der Oberfläche der Röhren proportional ist, so erscheinen bei gleicher Wärmezufuhr von Innen die Röhren von geringerem äußerem Durchmesser *d*, heißer, als die von größerem Durchmesser *d*. Um daher die bei ersteren beobachteten Erwärmungen *t_i* der Röhren mit denen der letzteren vergleichen zu können, müssen sie mit $\frac{d_i}{d}$ multiplicirt werden. Hierdurch ergeben sich die Werthe *t_{II}*.

Ein kleiner Fehler ist bei diesen Bestimmungen nicht wohl zu vermeiden, indem die erwärmte Masse des Thermoelementes zu der Masse der Längeneinheit der weiteren

und engeren Röhren nicht ganz in demselben Verhältnisse steht. Bei den geringen Dimensionen der Drähte des Thermoelements und den nicht bedeutenden Verschiedenheiten der Massen jener Röhren ist aber die betreffende Correction nur unbedeutend.

Die so berechneten Resultate der Reihen XXII bis XXVII sind zum Theil auf beifolgender Tafel unter *D* dargestellt, wo die Abscissen die Drucke p , die Ordinaten die Temperaturen t , oder, wo sie besonders berechnet sind, die Temperaturen t_H bezeichnen.

Aus diesen und manchen anderen Versuchen lassen sich zunächst direct folgende Resultate ableiten:

Die Temperaturerhöhungen der Capillarröhren nehmen bei gleicher Elektrizitätszufuhr mit wachsendem Gasdruck, so wie mit der für jede einzelne Entladung erforderlichen Elektrizitätsmenge im Allgemeinen immer langsamer zu.

Dabei ist bei bestimmten mittleren Drucken ein relatives Maximum der Temperaturerhöhungen, ähnlich wie für die zu jeder einzelnen Entladung erforderlichen Elektrizitätsmengen, nicht deutlich zu beobachten. Dagegen nimmt die durch jede einzelne Entladung hervorgebrachte Temperaturerhöhung (const. t_1, y_1) zuerst langsamer und zwar in etwas geringerem Verhältniß, als das Ansteigen des Druckes, bis zu dem Drucke zu, bei welchem auch das relative Maximum der Entladungsabstände erfolgt; bei höherem Druck nimmt die Temperaturerhöhung durch jede Einzelentladung viel schneller zu, als vorher, aber nahezu proportional der Zunahme des Druckes.

So lange bei geringeren Drucken die zur Erzeugung einer Entladung erforderlichen Elektrizitätsmengen im Stickstoff und Wasserstoff unter sonst gleichen Umständen von einander wenig verschieden sind, sind es ebenso auch die Temperaturerhöhungen der Capillarröhren. Bei höheren Drucken, bei welchen für jede Entladung im Stickstoff grössere Elektrizitätsmengen erforderlich sind,

als im Wasserstoff, ist auch die Temperaturerhöhung in ersterem bedeutender.

Unter sonst gleichen Bedingungen ist *die Erwärmung jedes einzelnen Querschnittes eines kürzeren oder längeren Capillarrohres*, welches zwischen die Elektroden umgebenden weiteren Glashüllen eingeschaltet wird, *nahezu die gleiche*, selbst wenn die Längen im Verhältniß von 1:1,78 geändert werden. Dabei ist die äußere Erscheinung der Entladung an den Elektroden bei längeren und kürzeren Capillarrohren unter sonst gleichen Verhältnissen kaum von einander verschieden.

Bei längeren Röhren nimmt indess die Erwärmung von der mit der Elektrizitätsmaschine verbundenen gegen die abgeleitete Elektrode hin ein wenig ab (Reihe XXVIII). Bei relativ sehr langen Röhren tritt dies namentlich hervor, wenn die isolirte Elektrode der Röhren positiv geladen ist. Man bemerkt sodann, wie wir schon erwähnten, einen mit starken Drucken immer weiter von der Seite der abgeleiteten Elektrode sich im Capillarrohr ausbreitenden dunklen Raum, dessen Temperatur wesentlich niedriger ist, als die der helleren Stellen.

Aus diesem Grunde wurde auch bei den meisten der oben erwähnten vergleichenden Versuche die positive Elektrode der Entladungsröhren zur Erde abgeleitet.

Röhren von verschiedenem innerem, aber gleichem äußerem Durchmesser erhalten in gleichen Zeiten durch die Entladungen unter sonst gleichen Umständen nahezu gleiche Wärmemengen, selbst wenn der Querschnitt des Entladungsraumes im Verhältniß von 1:4 zunimmt. Dies zeigt sich sowohl bei nach einander folgender Einschaltung verschieden weiter Capillarrohren zwischen die Elektroden, als auch bei Einschaltung eines an verschiedenen Stellen ungleich weiten Rohres zwischen dieselben.

Bei anderen Versuchen wurde der Einfluß der Erwärmung auf die Entladungserscheinungen untersucht. Der Entladungsapparat bestand dabei aus zwei conaxialen,

12 Mm. weiten und 70 Mm. langen cylindrischen Glasröhren, die durch ein 115 Mm. langes und 1 Mm. weites Capillarrohr verbunden waren. In den Axen der weiteren Glasröhren waren Platindrähte als Elektroden angebracht, die an ihren, dem Capillarrohr zugekehrten Enden mit kleinen Glaskuppen bedeckt waren. Die Röhren waren mit Stickstoff oder Wasserstoff gefüllt. Die Zahl der Entladungen in denselben wurde in der früher angeführten Art gemessen. Dieselbe änderte sich kaum, als die Hüllen um die Elektroden oder das Capillarrohr schwach erhitzt wurden. Wurde aber letzteres *stark* erhitzt, wenn auch noch nicht bis zum Glühen, so nahm bei gleicher Elektrizitätszufuhr die Zahl der Entladungen in der Zeiteinheit stark zu (z. B. im Verhältniß von 7 : 12). Dann erschien die erhitzte Stelle nicht mehr röthlich oder bläulich, sondern hellgelb gefärbt, und mit dem Spectroskop war daselbst in dem vorher reinen Wasserstoff- oder Stickstoffspectrum die Natriumlinie sehr hell sichtbar. Im rotirenden Spiegel zeigten sich an der erhitzten Stelle nur die einzelnen, scharf von einander getrennten Entladungen gelb gefärbt, so daß also ein dauerndes Glühen der natriumhaltenden Glaswand nicht eintrat. Zugleich breitete sich während der Entladungen das gelbe Natriumlicht *nicht* über die stark erhitzte Stelle der Röhren aus.

Bei stärkerer Erhitzung des Raumes um die eine oder die andere Elektrode erschien auch nur an der die Platindrähte vorn bedeckenden Glaskuppe oder unmittelbar auf denselben gelbes Natriumlicht, welches sich aber ebenfalls nicht ausbreitete. Dabei wurden die Abstände der Entladungen größer (z. B. im Verhältniß von 10 : 13). Wurde aber der zur Luftpumpe führende Hahn geöffnet, so daß sich die durch die Erwärmung erzeugte Steigerung des Luftdrucks wieder ausgleichen konnte, so fiel der Entladungsabstand wieder auf das frühere. Also selbst bei Temperaturerhöhungen bis nahe zum Schmelzen des Glases ändert sich die zu einer Entladung erforderliche Elektrizitätsmenge nicht merklich.

Es wurde ferner die elektroskopische Ladung der Capillarröhren untersucht, welche zwischen die die Elektroden umgebenden Glashüllen geschaltet waren, indem an verschiedene Stellen derselben ein Metallplättchen gelegt wurde, welches durch einen dünnen Draht mit dem Goldblatt eines Fechner-Bohnenberger'schen Elektroskopes in Verbindung stand.

Wurde nur die eine Elektrode des Rohres geladen, die andere abgeleitet, so zeigte das ganze Capillarrohr die Elektrizität der isolirten Elektrode in abnehmender Stärke gegen das abgeleitete Ende. Die die abgeleitete Elektrode umgebende Glaskugel erschien nicht geladen.

Wenn beide Elektroden der Entladungsröhre isolirt mit den Kämmen der Elektrisirmaschine verbunden und die Hähne an beiden Enden des Entladungsapparates geschlossen waren, so war die der positiven Elektrode zugekehrte Hälfte der Capillarröhre positiv, die der negativen Elektrode zugekehrte negativ geladen; in der Mitte lag ein Indifferenzpunkt.

Wurde eine Stelle des Capillarrohres ableitend berührt so änderte sich die Vertheilung des Lichtes in demselben kaum, wenn die Elektroden des Entladungsrohres beide isolirt mit der Maschine verbunden oder auch die positive Elektrode abgeleitet war. War indess die negative Elektrode abgeleitet, so zeigte sich bei engen und langen Röhren unter dem ableitenden Draht eine gegen die Seite der isolirten positiven Elektrode sich ausbreitende dunkle Stelle, die um so länger war, je weiter die Ableitungsstelle gegen die abgeleitete Elektrode hin vorgeschoben wurde.

Die äußere Erscheinung der Entladungen bei Isolation beider oder Ableitung einer Elektrode stimmt im Allgemeinen mit den Folgerungen überein, die aus der ungleichen Ladung der Elektroden und der ungleichen Ausbreitung der Entladung an beiden Elektroden abzuleiten

sind. Für den Uebergang der Elektricitäten in Entladungsröhren tritt hierzu noch die Wirkung der auf den Glaswänden angehäuften freien Elektricitäten wie dies u. A. die folgenden Versuche zeigen.

In einem cylindrischen Rohr von etwa 10 Mm. innerem Durchmesser und 30 Ctm. Länge, an dessen Enden sich die etwa 3 bis 4 Mm. im Durchmesser haltenden kugelförmigen Elektroden befinden, kann die Wechselwirkung der Ladungen der letzteren ziemlich vernachlässigt werden.

Bei Isolation der Elektroden breitet sich die *zuerst* aus der negativen Elektrode ausströmende Elektricität bei sehr schwachen Drucken auf der Glaswand bis zu der positiven Elektrode hin aus, wie sich durch elektroskopische Versuche nachweisen läßt. Die nach Herstellung dieser Vertheilung von letzterer Elektrode ausgehende Entladung erfüllt sofort das Rohr in seinem ganzen Querschnitt, indem sie sich sogleich bis zur entgegengesetzt geladenen Röhrenwand ausdehnt. In der Nähe der negativen Elektrode contrahirt sich die Entladung zu derselben hin und ist von der die Elektrode auf einen etwa 2 Mm. weiten Raum umgebenden Lichthülle durch einen kleinen, der Elektrode concentrischen dunklen Raum getrennt.

Bei stärkerem Gasdruck, bei dem die von der positiven Elektrode auf die Glaswand bei jeder Entladung übergehenden Elektricitätsmengen bedeutender sind, erstreckt sich die negative Ladung der Glaswand nur bis etwa 6 bis 8 Ctm. von der positiven Elektrode, die positive Entladung bleibt in Folge dessen nahe derselben mit etwas größerer Helligkeit ziemlich eng contrahirt in der Mitte des Rohres und breitet sich erst allmählich gegen die Wand durch den ganzen Querschnitt aus. Bei Ableitung der negativen Elektrode, bei welcher sich die ganze Röhrenwand mit abnehmender Stärke von der positiven Elektrode an positiv ladet, durchzieht entsprechend die positive Entladung als heller Lichtstreifen eine größere Länge der Axe des Rohres, und nur schwach breitet sich daneben, sich erweiternd gegen die negative Elektrode hin, die

Entla-
sitive
von
geht
schne
In
den
die
des
und
schw

D
ton
unt
Eis

ma
nic
fall
Be
Kö
ge
zu
sch
kle
1

Entladung zur Röhrenwand aus. Bei Ableitung der positiven Elektrode ist die Erscheinung dagegen nicht sehr von der bei Isolation beider Elektroden verschieden; nur geht die Entladung an der positiven Elektrode etwas schneller zur Röhrenwand.

In den Entladungsapparaten mit Capillarröhren zwischen den die Elektroden umgebenden Glashüllen gestalten sich die Vorgänge ganz analog, nur daß in Folge der Form des Apparats die Verhältnisse noch complicirter werden, und die Vertheilung der Elektricität im Einzelnen noch schwieriger zu verfolgen ist.

(Schluß im nächsten Heft.)

III. *Ueber die specifische Wärme des Cers, Lanthans und Didyms;* von Dr. W. F. Hillebrand.

Die nachfolgenden Versuche sind mit dem von Dr. Norton und mir elektrolytisch abgeschiedenen Metallen¹⁾, unter freundlicher Leitung von Prof. Bunsen, mit dessen Eiscalorimeter ausgeführt.

Die größeren bis zu 6 Gramm schweren Reguli, welche man durch Elektrolyse erhält, sind am reinsten, da sie nicht, wie die in der geschmolzenen Chloridmasse herabfallenden kleineren Kugeln mit den Thonzellenwänden in Berührung kamen und keine aus diesen reducirte fremde Körper in sich aufnehmen konnten. Obwohl es daher angezeigt war die größeren Metallstücke zur Untersuchung zu benutzen, habe ich doch Anstand genommen, diese schönen Präparate zu zerstückeln und es vorgezogen, die kleineren weniger reinen Metallkugeln, nachdem ihre spe-

1) Diese Ann. Bd. CLVI, S. 466.

cifische Wärme ermittelt war, auf ihre Verunreinigungen zu untersuchen und diese Verunreinigungen, welche nur Fehler zweiter Ordnung herbeiführen, mit in Rechnung zu ziehen.

Da die zu untersuchenden Metalle sich leicht an der Luft oxydiren und das Wasser zersetzen, so war es nöthig dieselben in eine Glashülle einzuschließen. Es war daher zunächst die Wärmemenge in Scalentheilen zu ermitteln, welche ein Gramm des benutzten Glases bei seiner Abkühlung von 1° C. auf 0° C. abgibt. Diese Wärmemenge W ,¹⁾ ergibt sich mit Hülfe der Gleichung

$$W = \frac{T}{G, t}$$

aus folgenden Versuchen:

		I.	II.
Gewicht des Glases . . .	$G,$	1,3287	1,8425
Erhitzungstemperatur . . .	t	99°,89	99°,804
Dauer des Versuches . . .	$M_1 - M_0$	90'	80'
Scalengang vor dem Versuche	$\frac{\tau_0}{m_0}$	0,16	0,13
Scalengang nach dem Versuche	$\frac{\tau_1}{m_1}$	0,14	0,233
Nach der Calibrirung corrigirter Scalenausschlag . . .	$Q_0 - Q_1$	371,7	522,2
Nach $\frac{\tau}{m}$ corrigirter Scalenausschlag	T	385,2	536,72

$$W, \text{ aus Vers. I} = 2,902$$

$$W, \text{ aus Vers. II} = 2,919$$

$$W, \text{ im Mittel} = 2,9105.$$

Für die zur Berechnung der specifischen Wärme S benutzte Formel²⁾

$$S = \frac{\frac{T}{t} - (W, G, + W, G_0)}{W, G,} \quad . . . (1),$$

1) Diese Ann. Bd. CXLI, S. 19.

2) Diese Ann. Bd. CXLI, S. 23.

worin G , das Gewicht der Glashülle, G_2 das Gewicht des zu dem Versuche benutzten Metalls, G_1 das Gewicht der in der Glashülle neben dem Metalle miteingeschlossenen Luft bedeutet, bedarf es keiner besonderen Bestimmung von W_2 , da dasselbe Eis calorimeter benutzt wurde, für welches von Prof. Bunsen für seine Versuche der Werth

$$W_2 = 14,657$$

bereits bestimmt war.

W_1 ist die in Scalentheilen ausgedrückte Wärmemenge, welche ein Gramm atmosphärische Luft bei ihrer Abkühlung von 1°C. auf 0°C. abgibt. Diese Wärmemenge ist durch die Gleichung

$$W_1 = W_2 S_1$$

gegeben, worin S_1 die specifische Wärme der Luft bei constantem Volumen bedeutet. Setzt man $S_1 = 0,1668$, so ergibt sich

$$W_1 = 2,445.$$

Um G_1 zu bestimmen, wurde das äußere Volumen V der zugeschmolzenen das Metall enthaltenden Glashülle durch Eintauchen derselben in einen graduirten, mit Wasser gefüllten Mefscylinder in Cubikcentimetern bestimmt. Nennt man G , das Gewicht der Glashülle, s_1 das specifische Gewicht derselben, ferner G_2 das Gewicht des in der Glashülle befindlichen Metalls und s_2 das specifische Gewicht desselben, ferner t und P die Temperatur und den Druck der Luft in der Glashülle beim Zuschmelzen derselben, so ist

$$G_1 = \frac{\left(V - \frac{G_2}{s_2} - \frac{G}{s_1} \right) P}{773(1 + 0,00366 t) 0,760} \quad \dots \quad (2).$$

A. Specifische Wärme des Didyms.

Die Elemente zur Berechnung von G_1 aus Formel (2) waren

$$\begin{aligned}
 v &= 1,17 & s_r &= 2,5 \\
 G_r &= 0,2445 & s_m &= 6,544 \\
 G_m &= 1,844 & t &= 40^\circ \\
 & & P &= 0,759
 \end{aligned}$$

und daher $G_r = 0,00080$.

Die Versuche mit dem Eis calorimeter gaben:

	Gewicht des Didyms in Grm.	Gewicht der Glashülle in Grm.	Gewicht der Lufthülle in Grm.	Erhitzungs- temperatur °C.	Dauer des Versuchs	Scalen- gang vor dem Versuche	Scalen- gang nach dem Versuche	Scalenaus- schlag nach Calibrirungs- tabelle	Scalenaus- schlag nach $\frac{t}{m}$ correct
	G_m	G_g	G_l	t	$M_1 - M_0$	$\frac{r_0}{m_0}$	$\frac{r_1}{m_1}$	$Q_0 - Q_1$	T
Vers. I	1,8440	0,2445	0,00089	99°, 90	50'	-0,072	-0,035	199,5	196,8
Vers. II	1,8440	0,2445	0,00089	100°, 10	70'	-0,117	-0,090	204,7	197,45

D
daher

D
ten s
nur a
Diese
bewie
der S
Sauer
bunde
in ihr
Verh
mene
unric
these
den S
Es w
welch
gedie
Verlu
tersä
Platin
und
1,062
Wass
löst
auflö
D
und
keit
0,002
D
Oxal
dem

Die specifische Wärme des untersuchten Didyms ist daher

nach Vers. I 0,04649

nach Vers. II 0,04557

im Mittel 0,04653.

Die bisher angenommenen Atomgewichte der sogenannten seltenen Erden, sind niemals direct bestimmt, sondern nur aus der Sättigungscapacität ihrer Salze berechnet worden. Diese Berechnung setzt eine durch keine Thatsache bisher bewiesene Hypothese voraus, die Hypothese nämlich, daß der Sauerstoffgehalt dieser Erden den dritten Theil des Sauerstoffs der mit ihnen zu einem neutralen Salze verbundenen Schwefelsäure ausmacht. Zeigten diese Salze in ihrer Zusammensetzung ein den Uranoxydsalzen analoges Verhalten, so würde die anstandslos allgemein angenommene procentische Zusammensetzung dieser Erden völlig unrichtig seyn. Um die Richtigkeit der fraglichen Hypothese zu prüfen, schien es daher von besonderem Interesse den Sauerstoffgehalt des Didymoxyds direct festzustellen. Es werden zu diesem Zweck 0,9071 Grm. der Didymprobe, welche zur Bestimmung der specifischen Wärme des Metalls gedient hatte, unter allen Vorsichtsmaafsregeln, die einen Verlust durch Verspritzen unmöglich machten, in Salpetersäure in der Kälte gelöst und die Lösung in einem Platintiegel unter Beobachtung gleicher Vorsicht abgedampft und geglüht. Das Gewicht des gebildeten Oxyds betrug 1,0626 Grm. und änderte sich bei dem Glühen in einer Wasserstoffatmosphäre nicht. In Chlorwasserstoffsäure gelöst und abgedampft, hinterliefs dasselbe bei dem Wiederauflösen in Salzsäure und Wasser 0,0071 Grm. Kieselerde.

Die erhaltene Lösung wurde mit Ammoniak gefällt und der Niederschlag (A) abfiltrirt, die abfiltrirte Flüssigkeit gab abgedampft und geglüht einen Rückstand der 0,0028 Grm. wog und sich als Didymoxyd erwies.

Der Niederschlag A gab im feuchten Zustande mit Oxalsäure längere Zeit digerirt ein oxalsaures Salz, aus dem durch Glühen 1,0640 Grm. Didymoxyd erhalten

wurde, und eine Flüssigkeit, aus welcher nach dem Abdampfen und Glühen noch 0,0044 Grm. Thonerde erhalten wurden. Das Didymoxyd in Chlorid verwandelt und im elektrischen Funken vor dem Spectralapparat geprüft, zeigte schwache Linien des Lanthans, dessen Menge aber nicht bestimmt werden konnte und daher bei den nachfolgenden Betrachtungen außer Acht gelassen ist.

Alle diese Versuche wurden in Platingefäßen und mit Reagentien ausgeführt, die zuvor sorgfältig auf die Abwesenheit jeder Verunreinigung untersucht waren. Bei allen Wägungen wurden, um den Einfluß der durch die Platintiegel verdrängten Luft verschwindend klein zu machen, Taren von Platin auf die für die Gewichtsstücke bestimmte Waagschale gelegt.

Demnach ist die Zusammensetzung des aus dem Metall erhaltenen Oxyds in 100 Theilen:

	1.
Didymoxyd	98,701
Kieselerde	0,668
Eisenoxyd	0,414
Thonerde	0,179
Verlust	0,038
	<hr/> 100,000

und die Zusammensetzung des Metalls selbst

	2.
Didym	99,181
Silicium	0,368
Eisen	0,339
Aluminium	0,112
	<hr/> 100,000.

Diesen Analysen zufolge enthielten die zu denselben verwandten 0,9071 Grm. Metall 0,8997 Grm. Didym und gaben nach Abzug der in den 1,0626 Grm. Oxyd enthaltenen Verunreinigungen 1,0488 Grm. reines Didymoxyd. Die durch diese directe Analyse gefundene Zusammensetzung des Didymoxyds ist daher

	3.
Didym	85,78
Sauerstoff	14,22.

Der aus P. T. Cleve's ¹⁾ Analysen des schwefelsauren Didymoxyds hypothetisch nach der Sättigungscapacität abgeleitete procentische Sauerstoffgehalt des Didymoxyds ist 14,04, also sehr nahe mit dem direct gefundenen übereinstimmend. Noch genauer würde die Uebereinstimmung seyn, wenn der Lanthangehalt des Didyms hätte ermittelt werden können.

Zieht man die geringen Verunreinigungen, welche das zu den Versuchen benutzte Metall der vorstehenden Analyse zufolge enthält, mit in Betracht, so läßt sich daraus der Werth für die specifische Wärme des reinen Didymmetalls ableiten:

Es seyen die in der Einheit des untersuchten Metalls enthaltenen Gewichte des Didyms d , des Kiesels k , des Eisens e , des Aluminiums a , ferner die specifischen Wärmen dieser Körper der Reihe nach s_d , s_k , s_e , s_a und die gefundene specifische Wärme des untersuchten unreinen Metalls S , so ist

$$ds_d + ks_k + es_e + as_a = S$$

und demnach

$$\frac{S - ks_k - es_e - as_a}{d} = s_d \quad . \quad . \quad . \quad (3);$$

substituirt man die Werthe

$$d = 0,99181 \quad S = 0,04653$$

$$k = 0,00368 \quad s_k = 0,175$$

$$e = 0,00339 \quad s_e = 0,114$$

$$a = 0,00112 \quad s_a = 0,214$$

in diese Gleichung, so erhält man für die specifische Wärme des reinen Didyms den Werth
0,04563.

Legt man dem Didymoxyd die Formel DiO bei, so ergibt sich aus der Analyse 3 für das Atomgewicht des Didyms der Werth

1) Abhandl. d. schwedischen Acad. Bd. 2, No. 6.

96,52¹⁾)

und für die Atomwärme desselben die Zahl

4,40,

welche von der Atomwärme der übrigen Elemente so erheblich abweicht, daß die Formel DiO völlig unzulässig erscheint. Nimmt man dagegen in Einklang mit neueren Ansichten für das Oxyd die Formel Di_2O_3 an, so erhält das Didymatom den anderthalbfachen Werth obiger Zahl, nämlich

144,78

und seine Atomwärme wird dann

6,60,

welche Zahl in befriedigender Weise mit dem Dulong-Petit'schen Gesetze übereinstimmt.

Das Oxyd des Didyms ist daher unzweifelhaft ein dreisäuriges Sesquioxyd.

B. Specifische Wärme des Lanthans.

Zur Bestimmung von G , dienten folgende Elemente:

Vers. I.	Vers. II.
$V = 0,60$	1,00
$G_1 = 0,1721$	0,2154
$G_2 = 0,8911$	1,6828
$s_1 = 2,5$	2,5
$s_2 = 6,049$	4,049
$t = 40^\circ$	40°
$P = 0,756$	0,758

Durch Substitution derselben in Formel (2) ergibt sich:

für Vers. I $G_1 = 0,00043$ für Vers. II $G_2 = 0,00071$.

Die Rechnungselemente zur Bestimmung der specifischen Wärme waren folgende:

1) $0 = 16$.

	Gewicht des Lanthans in Grm.	Gewicht der Glashülle in Grm.	Gewicht der Luftkugel in Grm.	Erhitzungs- temperatur °C.	Dauer des Versuches	Scalen- gang vor dem Versuche	Scalen- gang nach dem Versuche	Scalenaus- schlag nach Calibrirungs- tabelle	Scalenaus- schlag nach $\frac{\tau}{m}$ correct
	G_{L}	G_g	G_L	t	$M_1 - M_0$	$\frac{\tau_0}{m_0}$	$\frac{\tau_1}{m_1}$	$Q_0 - Q_1$	T
Vers. I	0,8911	0,1721	0,00043	99°,76	49'	0,105	0,11	104,5	109,77
Vers. II	1,6828	0,2154	0,00071	99°,69	50'	0,058	0,08	174,6	178,05

Daraus folgt die spezifische Wärme des Lanthans

nach Vers. I 0,04582

nach Vers. II 0,04692

Im Mittel 0,04637.

Das zu diesen Versuchen benutzte Lanthanmetall war ebenfalls nicht ganz rein; es stammte aus dem rückständigen Lanthanchlorür, aus dem die größeren Lanthanreguli bereits abgeschieden waren und in welchem, da das Lanthan viel leichter als das Didym durch den Strom abgeschieden wird, die vorhandenen Spuren von Didym sich concentrirt hatten.

0,8911 Grm. derselben Probe, welche zu den vorstehenden Versuchen benutzt war, gaben mit Salpetersäure oxydirt 1,0516 Grm. Lanthanoxyd, aus dem nach dem Auflösen in Salzsäure, Abdampfen und Wiederauflösen 0,0054 Grm. Kieselerde abgeschieden wurden.

Aus der Flüssigkeit wurden sämtliche Oxyde als Hydrate durch Ammoniak gefällt und abfiltrirt; die abfiltrirte Flüssigkeit gab nach dem Abdampfen und Glühen noch einige Milligramm Lanthanoxyd, welches der später bestimmten Hauptmasse des Lanthanoxyds hinzugefügt wurde. Durch Digestion der Oxydhydrate mit Oxalsäure wurde einerseits ein unlöslicher weißer Rückstand von oxalsaurem Lanthan und Didym, der nach dem Glühen sammt dem vorher besprochenen kleinen Rückstand 1,0276 Grm. didymhaltiges Lanthanoxyd gab, und andererseits eine Lösung erhalten, die nach dem Abdampfen und Glühen einen Rückstand hinterließ, welcher aus 0,0156 Grm. Eisenoxyd, 0,0026 Grm. Thonerde und noch 0,0004 Grm. Lanthanoxyd bestand.

Das dem Lanthanoxyd beigemischte Didymoxyd wurde mittelst der von Prof. Bunsen¹⁾ zuerst angewandten photometrischen Spectralanalyse bestimmt.

Ich bereitete zu diesem Zweck eine Lösung, die in V_1 Cubikcentimetern g_1 Grm. reines lanthanfreies Didymoxyd in Form des schwefelsauren Salzes enthielt. Das 1,0276 Grm. betragende auf seinen Didymgehalt zu prüfende Lanthanoxyd wurde darauf in Schwefelsäure gelöst und allmählich mit so viel Wasser gemischt, daß beide Lösungen in gleich dicken Schichten vor dem Spectralapparat geprüft, Didym-

1) Liebig's Ann. Bd. CXXXVII, Jahrg. 1866, S. 30.

streifen von gleicher Helligkeit zeigten. Als dieser Punkt erreicht war, wurde das Volumen der Flüssigkeit V abgelesen. Aus diesen Daten erhält man den Didymgehalt g mittelst der Gleichung

$$\frac{V}{V_1} g_1 = g.$$

Der Versuch gab

$$V_1 = 25,7 \text{ cbc.}$$

$$V = 23,5 \text{ cbc.}$$

$$g_1 = 0,0520.$$

Die gefundenen 1,0180 Grm. Lanthanoxyd enthielten daher 0,0476 Didymoxyd.

Die aus dem in Salpetersäure gelösten Metall erhaltenen Oxyde bestanden daher in 100 Theilen aus

Lanthanoxyd	93,23
Didymoxyd	4,52
Eisenoxyd	1,49
Kieselerde	0,51
Thonerde	0,25
	<hr/> 100,00.

Da dem oben angeführten Oxydations-Versuch des Lanthanmetalls zufolge diese 100,0 Oxyde 84,737 unreinem Lanthanmetall entsprechen, welches nach Abzug der aus der Analyse berechneten Metallverunreinigungen 79,431 reines Lanthan enthalten, obige 100,0 Oxyde aber der Analyse zufolge 93,229 reines Lanthanoxyd enthalten, so ergibt sich folgende direct gefundene Zusammensetzung des reinen Oxyds

Lanthan	85,20
Sauerstoff	14,80
	<hr/> 100,00.

Aus Cleve's ¹⁾ Analysen des schwefelsauren Lanthanoxyds, welche derselbe zur Feststellung des Lanthanatoms mit großer Sorgfalt ausgeführt hat, erhält man unter Zugrundelegung der Hypothese, daß der Sauerstoffgehalt

1) Abhandlung d. Schwedischen Akad. Bd. 2, No. 6.

des Oxyds ein Drittel von dem Sauerstoffgehalt der damit verbundenen Schwefelsäure beträgt, folgende mit der direct gefundenen fast identische Zusammensetzung:

Lanthan	85,29
Sauerstoff	14,71
	<hr/> 100,00.

Für die zur Bestimmung der specifischen Wärme benutzte Probe giebt die Analyse folgende Zusammensetzung ')

Lanthan	93,74
Didym	4,59
Eisen	1,23
Silicium	0,28
Aluminium	0,16
	<hr/> 100,00.

Demnach ergibt sich mit Hülfe der Formel (3) folgender Werth für die specifische Wärme des reinen Lanthans

$$0,04485$$

und, wenn man das Atom des Lanthans der Formel La_2O_3 entsprechend mit Cleve zu 139 annimmt, folgende Atomwärme desselben

$$6,23,$$

während mit Zugrundelegung der Formel LaO im Widerspruch mit dem Dulong - Petit'schen Gesetze dieselbe

$$4,15$$

seyn würde.

- 1) Die Zusammensetzung einer reineren Probe nach einer in diesen Annalen Bd. CLVI, S. 476 angeführten Analyse ist folgende:

Lanthan	99,16
Didym	0,52
Eisen	0,22
Silicium	0,10
	<hr/> 100,00.

A. a. O. ist in Folge eines Rechnungsfehlers, die procentische Zusammensetzung nicht ganz richtig angegeben.

Das Oxyd des Lanthans muß daher ebenfalls als ein dreisäuriges Sesquioxyd betrachtet werden.

C. Specifische Wärme des Cers.

Um die mehrere Gramm schweren Reguli unversehrt zu erhalten, wurden auch zu diesen Bestimmungen kleinere Metallkugeln benutzt, die aus nicht ganz didymfreien Rückständen der Cergewinnung stammten und daher nicht frei von Verunreinigungen waren. Der Werth der Constante G_1 , welche aus folgenden Elementen

$$\begin{array}{ll} V = 1,17 & s_1 = 2,5 \\ G_1 = 0,1601 & s_2 = 6,728 \\ G_2 = 2,0935 & t = 40^\circ \\ & P = 0,759 \end{array}$$

abgeleitet ist, ergibt sich zu

$$G_1 = 0,00089.$$

Die Versuche mit dem Eiscalorimeter gaben:

	Gewicht des Cers in Grm.	Gewicht der Glashülle in Grm.	Gewicht der Luftkugel in Grm.	Erhitzungs- temperatur ° C.	Dauer des Versuchs	Scalen- gang vor dem Versuche	Scalen- gang nach dem Versuche	Scalenaus- schlag nach Calibrirungs- tabelle	Scalenaus- schlag nach $\frac{r}{m}$ corrigirt
	G_m	G_g	G_t	t	$M_1 - M_0$	$\frac{r_0}{m_0}$	$\frac{r_1}{m_1}$	$Q_0 - Q_1$	T
Vers. I	2,0935	0,1601	0,00089	99°,70	60'	0,060	0,067	184,0	187,81
Vers. II.	2,0935	0,1601	0,00089	94°,93	60'	-0,040	-0,026	188,4	186,42

Diese Rechnungselemente geben für die spezifische Wärme des untersuchten Cers
nach Vers. I 0,04613
nach Vers. II 0,04554
im Mittel 0,04583.

U
zu er
säure
das h
Behan
holtes
1,6303
dem A
Kiesel
frei v
Didym
betrug
chlorth
Spectr
Linien
Cers

Da
Grm.
den vo
Cerne
den V
sich in
reines
Die
durch
metall

Na
mit v

Um die Zusammensetzung des untersuchten Metalls zu ermitteln, wurden 0,7946 Grm. desselben in Salpetersäure gelöst und das erhaltene salpetersaure Salz geglüht; das hinterbleibende Ceroxyd wog 0,8768 Grm.; durch Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure und wiederholtes Abdampfen mit schwefliger Säure gab dasselbe 1,6303 wasserfreies schwefelsaures Ceroxydul, das bei dem Auflösen einen Rückstand hinterließ, der aus 0,0031 Kieselerde und 0,0127 Eisenoxyd bestand und sich als frei von Ceroxyd und Thonerde erwies. Der Gehalt an Didym wurde wie oben spectralanalytisch bestimmt und betrug 0,0332 Grm. Das schwefelsaure Ceroxydul, in Cerechlorür verwandelt und im elektrischen Funken vor dem Spectralapparat geprüft, zeigte nur einzelne sehr schwache Linien des Lanthanspectrums. Das durch Oxydation des Cers erhaltene Ceroxyd enthielt daher in 100 Theilen

Ceroxyd	94,98
Didymoxyd	3,40
Eisenoxyd	1,30
Kieselerde	0,32
	<hr/> 100,00.

Da 0,9768 Grm. dieses unreinen Ceroxyds aus 0,7946 Grm. unreinem Cermetall erhalten wurden, so müssen in den vorstehenden 100 Grm. Oxyd 81,347 Grm. des unreinen Cermetalls vorhanden seyn. Zieht man von diesen die in den Verunreinigungen enthaltenen Metalle ab, so ergibt sich in obigen 94,98 Grm. des reinen Ceroxyds 77,362 Grm. reines Cermetall.

Die direct gefundene Zusammensetzung der geglühten durch Oxydation mit Salpetersäure aus dem reinen Cermetall erhaltenen Oxydationsstufe ist daher

Cer	81,45
Sauerstoff	18,55.

Nach sehr sorgfältigen Versuchen, die von C. Wolf mit völlig chemisch reinem schwefelsauren Ceroxydul in

längerer Zeit in Prof. Bunsen's Laboratorium ausgeführt wurden, enthält dieses Salz

Ceroxydul	57,294
Schwefelsäure	42,706
	<hr/> 100,000.

Geht man wieder von der seither stillschweigend vorausgesetzten Hypothese aus, daß in diesem Salze der Sauerstoffgehalt der Schwefelsäure das Dreifache vom Sauerstoffgehalt des mit der Säure verbundenen Oxyds ausmacht, so findet man folgende mit der eben direct bestimmten nahe übereinstimmende Zusammensetzung der höchsten Oxydationsstufe des Cers:

Cer	81,06
Sauerstoff	18,94.

Für die Zusammensetzung der zur Bestimmung der specifischen Wärme benutzten Metallprobe ergibt die obige Analyse

Cer	95,10
Didym	3,60
Eisen	1,12
Silicium	0,18
	<hr/> 100,00.

Daraus findet man mit Hülfe der Formel (3) folgende specifische Wärme des reinen Cers

$$0,04479.$$

Nimmt man für die niedrigste Oxydationsstufe des Cers die Formel CeO an, so wird das Atomgewicht des Metalls 92 ($0 = 16$) und die Atomwärme desselben 4,12. Betrachtet man dagegen das Ceroxydul als ein Sesquioxyd, so erhält man für das Atomgewicht des Metalls

$$138$$

und für die Atomwärme desselben

$$6,18,$$

welche Zahl mit der Atomwärme anderer Metalle auf das befriedigendste übereinstimmt. Man wird daher für die Oxyde des Cers die Formeln



annehmen müssen.

Heidelberg, den 8. März.

IV. *Versuche über die im ungeschlossenen Kreise durch Bewegung inducirten elektromotorischen Kräfte; von H. Helmholtz.*

(Aus d. Monatsberichten d. Akad. Juni 1875.)

Ich habe der Akademie zu wiederholten Malen Bericht erstattet über die Ergebnisse meiner Untersuchungen, die sich auf die Theorie der Elektrodynamik bezogen. Ich hatte bei diesen Untersuchungen das Ziel verfolgt zu ermitteln, in wie weit diejenigen der bekannteren Theorien, welche überhaupt bestimmte und genaue quantitative Rechenschaft von den elektrodynamischen Phänomenen geben, mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft in Uebereinstimmung sind, und wie weit sie übereinstimmende Folgerungen betreffs der beobachtbaren Erscheinungen geben, beziehlich unter welchen Bedingungen Abweichungen zwischen ihnen auftreten. Es erschien namentlich wünschenswerth solche Fälle der Abweichung herauszufinden, bei denen ausführbare Versuche für oder gegen die Folgerungen aus der einen oder anderen Theorie entscheiden konnten, um so über die Zulässigkeit dieser Theorien selbst eine Entscheidung zu gewinnen.

Genau quantitativ ermittelt waren bisher fast nur die Wirkungen der in geschlossenen leitenden Kreisen ver-

laufenden Ströme und der auf solche wirkenden elektromotorischen und ponderomotorischen Kräfte elektrodynamischen Ursprungs. Die Magnete wirken dabei ebenfalls wie Systeme geschlossener elektrischer Ströme. Die gegenseitigen Einwirkungen solcher Ströme sind verhältnißmäßig stark und dauernd, und deshalb mit den uns zu Gebote stehenden Hilfsmitteln leicht und genau zu beobachten. Auch war schon eine Reihe von solchen Fällen experimentell untersucht worden, wo die Stromleiter zwar unterbrochen waren durch die dünne isolirende Schicht eines Condensators oder einer Leydener Flasche, aber immer nur unter Bedingungen, wo die elektrodynamische Wirkung der Unterbrechungsstelle gegen die der übrigen Theile der Leitung verschwand.

Die Grundlage aller quantitativ bestimmten Formulierungen der elektrodynamischen Gesetze findet sich ursprünglich in Ampère's glücklichen Gedanken die Fernwirkung eines geschlossenen linearen Stromleiters gleichzusetzen den magnetischen Fernwirkungen einer imaginären durch den Stromleiter begränzten Fläche, deren Flächeneinheiten ein der Stromstärke proportionales magnetisches Moment haben. Diese Darstellung des Wirkungsgesetzes faßte in der That nur beobachtete Erscheinungen zusammen, ohne hypothetische Elemente hinzuzufügen. Ihre Uebereinstimmung mit den Thatsachen können wir als vollkommen gewährleistet durch eine große Anzahl der mannigfaltigsten Versuche und Messungen betrachten. Da die magnetischen Anziehungen und Abstosungen auf ein Potential zurückgeführt werden können, so konnte dies auch für die ponderomotorischen Wirkungen geschlossener Ströme auf einander geschehen.

Die Gesetze der inducirten Ströme bei Bewegung der Leiter ergaben sich aus denen der ponderomotorischen Kräfte mittels des von Lenz und Joule aufgestellten Gesetzes, wonach diese Ströme immer der Bewegung, durch welche sie hervorgerufen sind, entgegenwirken, und wonach ihre elektromotorische Kraft andererseits gleich

Null
ponde
und u
ducirt
durch
herlei
ductio
ciren
führu
A
der F
Neu
ducir
père
pond
diese
weit
ducir
achte
nur
M
bei
varia
bring
such
seine
Bew
zum
zwei
die
beim
Ley
lenk
nam
die
der
ken

Null ist bei solchen Bewegungen, wo die Arbeit der ponderomotorischen Kräfte zwischen dem inducirenden und dem von einem constanten Strome durchflossenen inducirten Leiter gleich Null wäre. Für die Induction durch Aenderung der Stromstärke liefs sich der Werth herleiten aus der Beobachtung, dafs der gesammte Inductionsstrom (sein Zeitintegral) bei Oeffnung des inducirenden Stromes ebenso grofs ist, wie bei der Ueberführung seines Leiters in unendliche Entfernung.

Aus diesen Thatsachen, die durch alle Beobachtungen der Folgezeit nur bestätigt worden sind, leitete Hr. F. E. Neumann sein bekanntes Gesetz für die Gröfse der inducirten elektromotorischen Kräfte her; indem er das Ampère'sche Gesetz als den quantitativen Ausdruck für die ponderomotorischen Kräfte zu Grunde legte. So weit also dieses durch Beobachtungen wirklich bestätigt war, so weit galten auch die daraus abgeleiteten Gesetze der inducirten elektromotorischen Kräfte. Dieses durch Beobachtungen gesicherte Gebiet umfalste aber, wie gesagt, nur die gegenseitige Wirkung geschlossener Ströme.

Nun lag es aber in der Natur der Sache, dafs man bei den Wirkungen, die ein so zusammengesetztes und variables Gebilde, wie ein elektrischer Stromkreis hervorbringt, nicht stehen bleiben konnte. Man mußte versuchen, die Wirkungen des Ganzen in die Wirkungen seiner einzelnen Elemente aufzulösen. Ausserdem existiren Bewegungen der Elektrizität bekanntlich auch in nicht zum Kreise geschlossenen Leitern, und solche haben unzweifelhaft elektrodynamische Wirkungen. Festgestellt ist die Existenz solcher Wirkungen wenigstens schon für die beinahe zum Kreise geschlossenen Entladungsdrähte der Leydener Flaschen. Solche geben elektromagnetische Ablenkungen der Magnetnadel und inducirte Ströme, sogenannte Nebenströme. Aber schon an diesen gaben sich die grofsen Schwierigkeiten, mit denen die Beobachtung der Wirkungen so flüchtiger Ströme verknüpft ist, zu erkennen.

Sobald man aber den Versuch macht aus der Wirkung der geschlossenen Stromkreise Rückschlüsse zu ziehen auf die Wirkungen, welche die einzelnen Theile dieser Stromkreise auf einander ausüben, ist man gezwungen Hypothesen zu machen, für welche bisher die experimentelle Prüfung fehlte.

Von den verschiedenen elektrodynamischen Theorien, welche seit Ampère's Arbeiten aufgestellt worden sind, mußte man vor allen Dingen verlangen, daß sie in Bezug auf die gegenseitigen Wirkungen geschlossener Ströme auf einander Folgerungen geben, die mit Ampère's Theorie und den von Neumann senior daraus hergeleiteten Inductionsgesetzen übereinstimmen, weil die Uebereinstimmung der letzteren mit den Thatsachen hinreichend verbürgt erschien. Eine Theorie, welche das nicht leistete, konnte überhaupt nicht gebraucht werden. In der That entsprechen nun aber dieser Forderung Theorien sehr verschiedener Art, von denen ich hier nur 1) Ampère's Annahme anziehender oder abstossender Kräfte zwischen den Stromelementen, 2) Faraday's und Graßmann's Annahme von Kräften, welche immer senkrecht gegen das Stromelement wirken, 3) Hrn. F. E. Neumann's Potentialgesetz, 4) Hrn. W. Weber's Annahme anziehender oder abstossender Kräfte zwischen den Elektricitäten selbst, deren Gröfse nicht bloß von der Entfernung, sondern auch von der Geschwindigkeit und Beschleunigung abhängig ist, 5) eine ähnliche Annahme von Gaußs, die nachher Riemann wieder aufgenommen hat, mit etwas abweichender Form des Gesetzes, ferner 6) Hrn. C. Neumann's Annahme eines sich mit meßbarer Geschwindigkeit im Raum ausbreitenden Potentials, und endlich 7) Hrn. Cl. Maxwell's Zurückführung der elektrodynamischen Wirkungen auf magnetische und diëlektrische Polarisation des raumfüllenden Aethers, welche eine mathematische Durcharbeitung Faraday'scher Ansichten giebt, als die bekannteren nennen will.

Diese verschiedenen Theorien unterscheiden sich durch

ihre verschiedenen Annahmen über die Art der Wirkung von Stromelement zu Stromelement, oder auch von elektrischen Massentheilchen zu Massentheilchen, und es fallen deshalb ihre Folgerungen über die Wirkungen ungeschlossener Ströme zum Theil verschieden aus, während Uebereinstimmung herrscht, soweit nur geschlossene in Betracht kommen. Eben deshalb ist aber eine Entscheidung zwischen denselben nur zu gewinnen durch die experimentelle und theoretische Untersuchung ihrer Folgerungen für ungeschlossene Ströme, und alle Versuche, dies durch Untersuchungen an geschlossenen Strömen leisten zu wollen, sind principiell falsch angelegt.

Da die Schwierigkeiten der experimentellen Ausführung hauptsächlich durch die kurze Dauer der zu einem Ende der Leitung führenden Ströme bedingt sind, welche letztere nur so lange andauern bis die zur Ladung der Oberfläche des betreffenden Leiters nöthige Elektrizitätsmenge herbeigeführt ist, so war eher Aussicht über diejenigen Theile der Kräfte Aufschluss zu erhalten, welche der Wirkung von Stromelementen auf Stromenden entsprechen, als über diejenigen Theile, welche von Stromende auf Stromende wirken. Denn im ersteren Falle hat man es doch nur mit einem dieser sehr flüchtigen Stromendtheile zu thun, während die mitwirkenden Stromelemente einem starken dauernden Strome angehören oder auch durch einen starken Magneten vertreten werden können.

In der That besteht in dieser Beziehung eine Differenz zwischen den von Hrn. F. E. Neumann ¹⁾ für geschlossene Ströme aufgestellten Potentialgesetze, dessen unbeschränkter Anwendung auch auf ungeschlossene Ströme aber nach unserer bisherigen Kenntniß der Thatsachen nichts im Wege stand, wie ich mich nachzuweisen bemüht habe, und zwischen dem Ampère'schen Gesetze andererseits, und derjenigen Form des Inductionsgesetzes, welches

1) Ueber ein allgemeines Princip der mathematischen Theorie inducirter elektrischer Ströme (der Akademie vorgetragen am 9. August 1847). Berlin, Reimer 1848.

ebenfalls und schon früher von Hrn. F. E. Neumann¹⁾ direct aus dem Ampère'schen Gesetze abgeleitet worden war, und welches übrigens mit dem aus der Weber'schen Hypothese über das Grundgesetz der elektrischen Kräfte hergeleiteten übereinstimmt, so wie mit den Gesetzen, welche Hr. C. Neumann, Sohn, nach einander von verschiedenen Hypothesen ausgehend abgeleitet hat.

Wenn man aus dem Potentialgesetze die Kräfte herleitet, die von jedem Punkt des einen Leiters auf jeden Punkt des anderen wirken müßten, um den in den Potential gegebenen Betrag der Arbeit zu leisten, so erhält man außer den ponderomotorischen Kräften, welche von Stromelement zu Stromelement wirken, und die mit den von Ampère angenommenen vollkommen übereinstimmen, noch solche, die zwischen den Stromelementen und Stromenden wirken, deren Intensität der Geschwindigkeit proportional ist, mit der die Dichtigkeit der Elektricität an dem Stromende wächst, ferner proportional der nach der Verbindungslinie beider gerichteten Stromcomponente in dem Stromelement, und umgekehrt proportional der Entfernung zwischen beiden. Die Kraft ist anziehend, wenn die in dem Stromende sich anhäufende Elektricität in dem Stromelement von jenem wegfließt.

Hrn. Grafsmann's ponderomotorisches Gesetz enthält die Kraft, welche Stromenden auf Stromelemente, nicht aber die, welche die letzteren auf erstere ausüben. Darin ist also die Gleichheit der Action nicht gewahrt. Das Grafsmann'sche Gesetz fällt übrigens seinem Resultat nach mit Faraday's Regel zusammen, wonach die ponderomotorische Kraft auf Stromelemente immer senkrecht zu ihnen selbst und zu den Magnetkraftlinien gerichtet ist. Nur sind in Faraday's Vorstellung und in der sich ihm anschließenden von Cl. Maxwell die Stromenden durch die Annahme beseitigt, daß von jedem Stromende

1) Die mathematischen Gesetze der inducirten elektrischen Ströme. Schriften der Berl. Akad. d. W. von 1875. Berlin, Reimer 1846.

aus sich elektrische Bewegungen in das isolirende Medium hinein fortpflanzen, welches die Leiter von einander trennt.

Ich habe in meiner der Akademie im Februar 1873 gemachten Mittheilung schon erwähnt, daß man diese vom Potentialgesetz geforderten ponderomotorischen Wirkungen auf Stromenden von denen, welche die Stromelemente erleiden, würde isoliren können, wenn man als Vertreter der geschlossenen Stromsysteme starke in sich selbst zurücklaufende ringförmige Magnete ohne Pole anwendet. Diese wirken auf andere Magnete und geschlossene Ströme gar nicht ponderomotorisch ein, wohl aber würden sie nach dem Potentialgesetze auf Stromenden einwirken müssen, beziehlich letztere auf die ringförmigen Magnete, und zwar so, daß wenn der Magnet durch ein System von Kreisströmen ersetzt gedacht wird, er diejenige Seite des Ringes dem Stromende zuzuwenden streben wird, in welcher die dem Stromende zufließende Elektrizität von der Axe des Ringes wegfließt.

Es erschien möglich auf einem von mir schon in Borchardt's Journal für Mathematik Bd. 78, S. 281 angedeuteten Wege Stromenden von hinreichender Wirksamkeit zu erhalten mittels elektrischer *Convection*. Ich verstehe hierunter entsprechend dem Gebrauche, der von diesem Worte in der Wärmelehre gemacht wird, die Fortführung der Elektrizität mittelst der Fortbewegung elektrisch geladener Körper. Das Potentialgesetz schreibt elektrodynamische Wirkungen nur der in ponderablen Trägern sich bewegenden Elektrizität zu, nicht aber der convectiv fortgeführten. Es war also zu versuchen, ob eine Elektrizität ausströmende Spitze die Wirkung eines Stromendes zeige, da die durch die Fortbewegung der elektrisch abgestoßenen Luft fortgeführte Elektrizität möglicher Weise nicht als elektrodynamische Fortsetzung der durchströmten Leitung in Betracht kam.

Versuche dieser Art übernahm Hr. N. Schiller während des vorigen Sommers im physikalischen Laboratorium

der hiesigen Universität auszuführen. Ein geschlossener Stahlring wurde mit einem Leitungsdrahte umwickelt und magnetisirt. Die Stärke der entstandenen Magnetisirung des Ringes konnte durch den Inductionsstrom bestimmt werden, den derselbe in einer Anzahl anderer, vom ersten Drahte getrennter Drahtwindungen beim Magnetisiren gab. Der Ring wurde an einem langen Coconfaden aufgehängt in einem Gehäuse, welches äußerlich ganz mit Stanniol überdeckt wurde, um elektrostatische Anziehungskräfte auszuschließen. Auch das Glas, durch welches ein am Magneten befestigter Spiegel beobachtet werden konnte, war durch ein Metallgitter bedeckt. Durch eine von außen genäherte metallene Spitze strömte die gesammte durch eine schnell gedrehte Holtz'sche Maschine entwickelte Elektrizität in die Luft aus. Die Spitze wurde derjenigen Seite des Kastens gegenübergestellt, wo sich innen der eine verticale Theil des Ringes befand. Der Ring hätte unter diesen Umständen eine Ablenkung erfahren müssen, wenn die Spitze als Stromende im Sinne der Potentialtheorie wirkte. Das Resultat der so angestellten Versuche war aber durchaus negativ. Hr. N. Schiller hat seitdem diese Versuche in *Moskau* mit vollkommeneren Apparaten fortgesetzt, unter Bedingungen, wo die Größe der Magnetisirung des Ringes und die Intensität des von der Elektrisirmaschine gelieferten Stromes genau bestimmt, und nachgewiesen werden konnte, daß die nach dem Potentialgesetz zu erwartende Ablenkung groß genug seyn würde, um sicher beobachtet werden zu können, wenn sie existirte. Die Resultate waren ebenso rein negativ. Ich erlaube mir am Schlusse dieses Aufsatzes die darauf bezüglichen Mittheilungen aus einem an mich gerichteten Briefe des genannten Beobachters beizufügen. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Versuche behält sich derselbe selbst zu geben vor¹⁾.

Daraus ist also zu schließen, daß entweder die vom

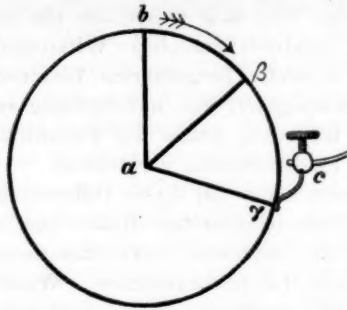
1) Dieselbe ist bereits bei mir angelangt, und wird nächstens in den Annalen abgedruckt werden. P.

Potentialgesetze angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren, oder daß außer den von diesem Gesetze angezeigten elektrodynamischen Wirkungen auch noch solche der convectiv fortgeführten Elektricität bestehen, daß das Potentialgesetz also unvollständig sey, wenn man in ihm nur Rücksicht nimmt auf Fernwirkungen der in den Leitern fortströmenden Elektricität.

Andererseits hängt mit dieser Differenz in der Bestimmung der ponderomotorischen Kräfte eine solche in der Bestimmung der inducirten elektromotorischen Kräfte in ungeschlossenen Leitern zusammen. Wenn ein Magnet oder ein System geschlossener Ströme inducirend einwirkt auf einen ungeschlossenen linearen Leiter ab , welcher in die Lage $\alpha\beta$ fortgerückt wird, so ist nach dem von Hrn. Neumann senior aus dem Ampère'schen hergeleiteten Inductionsgesetze die gesammte inducirte von α nach β treibende elektromotorische Kraft gleich dem Potential der inducirenden Ströme (oder Magnete) auf einen Stromkreis in dem die Einheit des Stromes von α längs der Lage $\alpha\beta$ nach β , von β längs des vom Endpunkte b beschriebenen Weges nach der Anfangslage von b , von da längs der Anfangslage ab des Leiters nach a und endlich längs des vom Punkte a beschriebenen Weges nach a circulirt. Mit dieser Regel fällt in den Resultaten das Faraday'sche Gesetz zusammen, wonach die Stärke der Induction von der Anzahl der durchschnittenen Magnetkraftlinien abhängt.

Folgen dagegen die ponderomotorischen Wirkungen dem Potentialgesetze, so sind in der genannten Berechnung wegzulassen diejenigen Theile des Potentials, die sich auf die beiden Wege aa und βb beziehen; es ist vielmehr nur die Differenz des elektrodynamischen Potentials für die Endlage $\alpha\beta$ minus dem für die Anfangslage ab zu nehmen. Es ergibt sich hieraus, daß ein Unterschied des Inductionsgesetzes auch für ungeschlossene Leiter nur dann besteht, wenn mindestens das eine Leiterende selbst fortbewegt wird.

Fig. 1.



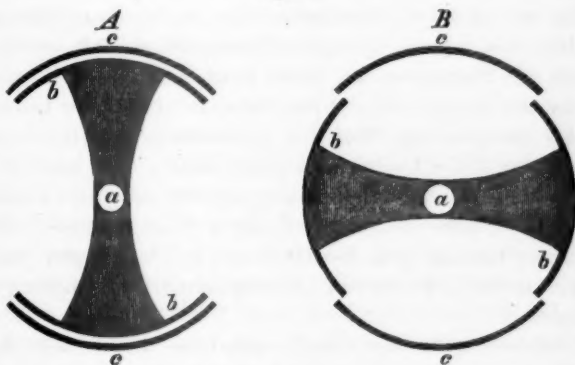
Denken wir uns den Endpunkt a des Leiters (ab Fig. 1) festliegend, b aber im Kreise um a drehbar, ferner die wirkenden Magnete und Stromtheile so angeordnet, daß die ersteren Rotationskörper bilden, deren magnetische Axe, wie die Axe ihrer Form mit der auf dem Mittelpunkte des Kreises errichteten Normale seiner Ebene zusammenfällt, während die Stromkreise zu dieser Axe concentrische Kreise bilden. Bei solcher Anordnung ist die relative Lage des Radius $a\beta$ zu den Magneten oder Strömen genau dieselbe wie ab ; das elektrodynamische Potential hat in beiden Fällen den gleichen Werth, nämlich Null, und das Potentialgesetz würde die Folgerung ergeben, daß in diesem Falle keine elektromotorische Kraft während der Drehung des Radius ab in der Lage $a\beta$ längs desselben wirkt.

Dagegen ist klar, daß der Leiter ab bei seiner Fortbewegung Magnetkraftlinien, die der Axe des Kreises parallel gehen, durchschneidet. Und entsprechender Weise kommt nach der von Neumann gegebenen Regel auch derjenige Theil des Potentials in Betracht, der sich auf den vom Punkte b beschriebenen Weg, d. h. den Kreisbogen $b\beta$ bezieht. Dieser Theil des Potentials hat in der That einen von Null verschiedenen Werth; geschieht die Strömung der Kreisströme im Sinne des neben gesetzten Pfeils und der Bewegung von b nach β , so würde das Potential positiv seyn, also die Inductionskraft von a nach β

hin wirken müssen. Ein so gerichteter Strom würde nach Ampère's Gesetz der Bewegung entgegen wirken.

Tritt an dem Ende b des rotirenden Radius schleifende Berührung mit einem feststehenden Leiter ein, wie in der Lage ay mit c , so würde das Potentialgesetz genau dieselbe inducirte Kraft anzeigen, da dann die Leitung a über y bis c geschlossen wäre. In diesem Falle wäre aber nach dem Potentialgesetze die ganze elektromotorische Kraft in den ihre Richtung schnell verändernden Stromfäden der Gleitstelle zu suchen. Die Einführung einer Gleitstelle giebt uns bei einem solchen Versuche also immer die Gelegenheit unabhängig von dem Streit der Theorien die durch die betreffende Bewegung im geschlossenen Kreise erzeugbare elektromotorische Kraft zu bestimmen.

Figur 2.



Diesen Theil der Versuche habe ich selbst ausgeführt. Zu dem Ende habe ich das Ende b des rotirenden Leiters mit einer Condensatorplatte versehen, welche während seiner Rotation einer andern ähnlichen nahe gegenübertrat. Schematisch ist dies dargestellt in der Fig. 2 A. Es ist a wieder der Durchschnitt der Axe, welche verticale Richtung hat, b sind die cylindrischen beweglichen Condensatorplatten, c die feststehenden. Figur 2 A zeigt diesel-

ben Theile nach einer Drehung um einen rechten Winkel. Die Platten *bb* und *cc* sind Quadraten zweier mit der Rotationsaxe *a* coaxialen Cylinderflächen. Der radiale Träger *bb* liegt zwischen den Polen eines starken Elektromagneten. Das untere Ende der Axe *a* ruht auf dem unteren Pole desselben, das obere Ende reicht durch eine Durchbohrung des oberen Theils des Elektromagneten hinaus bis in einen von magnetischen Richtkräften verhältnißmäßig freien Raum und trägt dort einen Commutator, mittelst dessen die Platten *cc* während der Stellung *A* zur Erde abgeleitet, in der Stellung *B* aber mit der isolirten Platte eines Condensators nach Kohlrausch verbunden werden. Werden die Platten *bb* durch magnetische Induction positiv geladen, so laden sich die Platten *cc* in der Stellung *A* von der Erde aus negativ, und zwar wirkt der Apparat hierbei wie ein Condensator, so daß eine mäßige elektromotorische Kraft ein verhältnißmäßig bedeutendes Quantum Elektricität anhäuft. Gehen dann die Platten in die Stelle *B* über, so wird die gesammelte negative E., deren Potential durch die Entfernung der positiven Platten *b* erheblich gesteigert ist, in Kohlrausch's Condensator übergeführt, und häuft sich in diesem an, bis dessen isolirte Platte selbst das Potential der Platten *cc* in der Stellung *B* angenommen hat.

Die Ladung von Kohlrausch's Condensator wird dann an einem Thomson'schen Quadrantelektrometer gemessen.

Ich übergehe hier die ausführliche Erörterung der Fehlerquellen, die sich geltend machen konnten und zum Theil gemacht haben, ehe ich die Mittel zu ihrer Beseitigung fand. Ich will nur kurz bemerken, daß nach jeder einzelnen Beobachtung die Pole des Magneten gewechselt wurden, wodurch der Einfluß aller Fehlerquellen von constanter Richtung beseitigt wird, daß ferner zwischen den Versuchen mit schneller Drehung immer solche mit langsamer Drehung angestellt wurden, um den Einfluß der durch den magnetischen Strom hervorgebrachten elek-

tros
Co
tris
Ich
und

digl
kun
ziel
mit
und
tion
elek
sato
Ele

mut
Plat
sato
Dar
sato
Stel
tion
dem
thei
indu
hen
groß
Abl
wär
mut
citä
war
eine

Plat

trostatischen Ladungen zu eliminiren. Da hier doppelte Condensation wirkt, so sind außerordentliche kleine elektrische Einflüsse im Stande Ladungen hervorzubringen. Ich behalte die ausführliche Beschreibung der Versuche und Methoden einem anderen Orte vor.

Es gelang mir schließlich bei großer Rotationsgeschwindigkeit und mit starken magnetisirenden Strömen Ablenkungen am Elektrometer bis zu 67 Theilstrichen zu erzielen, welche mit der Richtung der Magnetisirung und mit der Richtung der Bewegung ihr Zeichen wechselten, und an deren Entstehung aus elektrodynamischer Induction ich keinen Zweifel mehr hegen konnte. Die inducirte elektromotorische Kraft, welche den rotirenden Condensator lud, entspricht $\frac{1}{11}$ von der eines Daniell'schen Elements.

Andrerseits konnten die Verbindungen mit dem Commutator auch so hergestellt werden, daß die feststehenden Platten *c* in der Stellung *A* mit Kohlrausch's Condensator verbunden wurden, in der Stellung *B* mit der Erde. Dann wurde in der ersten Stellung dem großen Condensator so lange Elektrizität entzogen, und in der zweiten Stellung an die Erde abgegeben, bis seine Potentialfunction den Werth angenommen hatte, der den Platten *c* bei dem Elektrizitätsquantum Null zukam, wenn sie der vertheilenden Wirkung der bewegten und elektrodynamisch inducirten Platten ausgesetzt waren. Die dabei entstehende Ladung ergab nach Entfernung der Platten des großen Condensators von einander am Elektrometer die Ablenkung 12,42, während 13,8 derjenige Werth gewesen wäre, der sich aus der bei der ersten Stellung des Commutators beobachteten Ablenkung von 67 nach der Capacität des Condensators hätte ergeben müssen. Letztere war durch Ladung des rotirenden Condensators mittelst eines Daniell'schen Elements bestimmt worden.

Die beschriebenen Versuche zeigen zunächst, daß die Platten des rotirenden Condensators durch eine inducirte

elektromotorische Kraft geladen werden, auch wenn keine Gleitstelle vorhanden ist.

Es wäre nun noch zu fragen, ob die ganze elektromotorische Kraft, die in einem durch eine Gleitstelle geschlossenen Kreise wirkt, auch in dem ungeschlossenen Kreise thätig war. Diese Frage war bei der Anfertigung des Apparats vorgesehen worden, und ich hatte deshalb an dem oberen Rande der festen Platten *cc* verstellbare Federn anbringen lassen, welche bei passender Einstellung metallische Stifte, die am oberen Rande der beweglichen Platten *bb* angebracht waren, berühren konnten. Während dieser Berührung war die inducirte Leitung zwischen ruhenden Endpunkten, nämlich der Axe des rotirenden Theils und den festen Platten *c* geschlossen, für welchen Fall die zweifelhaften Punkte der Theorie keinen Einfluß haben. Von *c* aus konnte direct der Kohlrausch-Condensator geladen werden. Die Ladung war unter übrigens gleichen Umständen etwas größer, nämlich 18,71, als im letztbeschriebenen Falle, wo sie nur 13,42 betrug. Indessen berechtigt dieß nicht auf eine entsprechende Größe der elektromotorischen Kraft in der Contactstelle zu schließen. Denn es ergab sich, daß die elektromotorische Kraft nicht dieselbe blieb, wenn die Gleitstelle in verschiedener Höhe der rotirenden Platten angebracht wurde, was geschehen konnte, nachdem man eine der Platten *c* entfernt hatte. In mittlerer Höhe der Gleitstelle, der Mitte beider Magnetpole gegenüber, war die elektromotorische Kraft am kleinsten, etwa nur $\frac{2}{7}$ derjenigen an der oberen Anschlagstelle, was sich dadurch erklärt, daß die magnetischen Kraftlinien am Orte der Condensatorplatten ein wenig nach außen gebaucht waren, und deshalb zum Theil die Condensatorplatten selbst schnitten, und in ihnen schwache elektromotorische Kräfte von der Mitte zum oberen und unteren Rand hin inducirten. Der obige Ausschlag von 18,17 für die Gleitstelle am oberen Rand, reducirte sich also auf 13,36 für eine Gleitung an der Mitte der beweglichen Platten. Bei

den Versuchen ohne Gleitstelle kommt natürlich der Mittelwerth der elektromotorischen Kraft in Betracht, für die ganzen condensirenden Flächen berechnet. Dafs nun hier die beobachtete Ablenkung 13,42 so wenig gröfser ist, als die an der mittleren Gleitstelle wirkende Kraft 13,36 erklärt sich dadurch, dafs im ersteren Falle das Potential der Flächen von *b* nur durch Vertheilung auf die Platten *c* wirkte, und die Zahl 13,36 deren Potentialwerth misst, während ihr Elektrizitätsquantum gleich Null war. Unter diesen Umständen ist das durch Vertheilung erzeugte Potential nothwendig etwas kleiner, als das die Vertheilung erzeugende.

Bestätigt wurde diese Ansicht durch andere Versuche, bei denen ich nach Beseitigung der einen Platte *c* das Metallgestell des Magneten und die mit ihm verbundene Batterie isolirte und nur durch Drähte, die in der Mitte der unbedeckten rotirenden Platte *b* schleiften, die genannten Leiter mit der Erde verband. Die gebliebene eine Platte *c* wurde in der Stellung *A*, wo sie durch *b* gedeckt war, mit der Erde, in der Stellung *B* ungedeckt mit dem Kohlrausch-Condensator verbunden. Sie erhielt eine schwache Ladung von der Gröfse 5,3 und von derselben Art, als wäre die rotirende Axe nicht durch die Gleitstelle, sondern von ihren Spitzen aus zur Erde abgeleitet gewesen, wie in den erst beschriebenen Versuchen. Daraus ging unzweideutig hervor, dafs die in der Gleitstelle selbst vielleicht vorhandene elektromotorische Kraft jedenfalls kleiner war, als die Differenz zwischen dem Mittelwerthe und dem Minimalwerthe der bei den verschiedenen Höhen der Gleitstelle in sämmtlichen bewegten Theilen wirkenden inducirten Kraft. Wenn also überhaupt ein endlicher Theil der elektromotorischen Kraft in der Gleitstelle seinen Sitz hat, so ist derselbe verhältnismäfsig sehr klein ($\frac{1}{23}$ der Gesamtkraft) und bei der bisher erreichten Genauigkeit dieser Messungen den Fehlerquellen gegenüber noch nicht von solcher Gröfse, dafs ich seine Existenz verbürgen möchte.

Es folgt nun hieraus, daß die Potentialtheorie, wenn in ihr nur die in den Leitern vorkommenden elektrischen Bewegungen und deren Fernwirkungen berücksichtigt werden, mit den Thatsachen in Widerspruch tritt. Die beschriebenen Versuche fügen sich dagegen hinreichend gut unter das von F. E. Neumann direct aus der Ampère'schen Hypothese abgeleitete Gesetz. Daß übrigens die Ampère'sche Hypothese auch für die Inductionen zwischen je zwei ungeschlossenen Leitern mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft nach jeder Richtung hin in Uebereinstimmung gebracht werden kann, habe ich in meinem dritten Aufsätze über die Theorie der Elektrodynamik (Journal für Mathematik Bd. 78) nachgewiesen¹⁾.

Aber auch das Potentialgesetz kann den hier gewonnenen Resultaten entsprechend ergänzt werden, wenn man mit Faraday und Maxwell annimmt, daß auch in den Isolatoren elektrische Bewegungen mit elektrodynamischer Wirksamkeit eintreten können, wodurch dieselben dielektrisch polarisirt werden. Ich habe diese Hypothese schon am Schluß meiner ersten elektrodynamischen Abhandlung im 72^{ten} Bande des Journals für Mathematik mit dem Potentialgesetz in Verbindung gebracht, mit Beziehung auf die elektrischen Bewegungen in ruhenden Leitern und Isolatoren. Die Theorie von Hrn. Cl. Maxwell ergibt sich aus dieser Modification des Potentialgesetzes, wenn man die Constante der dielektrischen Polarisation (ϵ in meiner Abhandlung) unendlich groß werden läßt. Bei

- 1) Ich brauche hier wohl kaum daran zu erinnern, daß ich das Potentialgesetz bisher zwar gegen nichtige Einwände vertheidigt habe, aber doch immer nur als ein solches, über dessen Richtigkeit endgiltig nur neue Versuche entscheiden könnten. Die Punkte zu finden, wo man das Experiment angreifen könne, war der ausgesprochene Zweck meiner früheren Arbeiten, der nun in einem wesentlichen Theile erreicht ist. So weit die einfachere Gesetzmäßigkeit einer solchen Theorie bei Mangel entscheidender Thatsachen größere Wahrscheinlichkeit giebt, schien diese mir allerdings auf Seiten des Potentialgesetzes zu liegen, und deshalb erschien letzteres mir besonders beachtenswerth.

diesem Gränzfall würden überhaupt keine ungeschlossenen elektrischen Ströme mehr bestehen, wie auch Hr. Maxwell ausdrücklich hervorgehoben hat, indem jede elektrische Bewegung in Leitern, die zu einer Anhäufung der Elektricitäten an ihrer Oberfläche führt, sich in den umgebenden Isolatoren als aequivalente Bewegung entstehender oder vergehender diëlektrischer Polarisisation fortsetzen würde.

Ich behalte mir vor die vollständige mathematische Ausführung der Principien für die bei Bewegung der Leiter und Isolatoren eintretenden ponderomotorischen und elektromotorischen Wirkungen, auf Grundlage der oben bezeichneten Annahmen an einem anderen Orte zu geben und dadurch die Verbindung zwischen der Potentialtheorie und der Maxwell'schen vollständig herzustellen. Hier wird es genügen in Bezug auf die vorbeschriebenen Versuche folgendes anzuführen.

Denkt man sich zwischen den beiden an einander vorbeigleitenden Condensatorplatten die Schicht der isolirenden Luft (bezüglich des Aethers) in kleine Prismen zerschnitten, die in einem gegebenen Augenblicke senkrecht zu den Condensatorflächen stehen, dann aber sich mit den Luftschichten verschieben, so ist jedes dieser Prismen in einer Bewegung begriffen, durch welche es in tangentielle Richtung überzugehen und in dieser Richtung sich zu verlängern strebt, so daß es der zugewendeten Seite der um den Elektromagneten circulirenden Kreisströme sich parallel streckt. In einem Drahtstücke, was diese Bewegung macht, würde nach dem Potentialgesetze eine elektromotorische Kraft wirken gleich derjenigen, die wir bei den Versuchen mit der Gleitstelle finden. Das Gleiche würde bei diëlektrischer Polarisationsfähigkeit der Luftprismen in diesen geschehen, es würden sämtliche Molekeln der Prismen nach der einen Richtung hin positiv, nach der anderen Richtung hin negativ geladen werden, und dem entsprechend würde in der der positiven Seite der Molekeln gegenüberstehenden Conden-

satorfläche negative Elektrizität angehäuft werden, ihrer negativen Seite gegenüber positive. Somit würden die Metallflächen sich elektrisch laden können, ohne daß eine elektrodynamisch inducirte Kraft den metallischen Leiter selbst zu treffen brauchte.

Setzen wir das elektrische Moment für die Volumeinheit der Luft in Richtung der x gleich χ und bezeichnen wir mit \mathfrak{X} die in gleicher Richtung wirkende elektromotorische Kraft, und mit φ die elektrische Potentialfunction im Innern des Diëlektricum (wie in meiner Abhandlung im 72^{sten} Bd. des Journals für Mathematik), so würde zwischen den Condensatorplatten, da wo die x Axe zu ihnen normal ist, zu setzen seyn

$$\chi = \varepsilon \left(\mathfrak{X} - \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right).$$

Dabei würde gegen die Gränzen der Luftschicht in Richtung positiven x die elektrische Gränzschicht von der Größe $+\chi$ hingeschoben seyn, in der Richtung der negativen x die Schicht $-\chi$. Wenn nun an beiden Metallflächen selbst sich die elektrischen Dichtigkeiten $+e$ und $-e$ gesammelt haben, so ist nach bekannten Sätzen

1) an der Seite des positiven x

$$-4\pi(\chi + e) = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

oder

$$+4\pi e = (1 + 4\pi\varepsilon) \frac{\partial \varphi}{\partial x} - 4\pi\varepsilon \mathfrak{X};$$

2) an der Seite der negativen x ebenso

$$+4\pi(\chi + e) = \frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

oder

$$4\pi e + (1 + 4\pi\varepsilon) \frac{\partial \varphi}{\partial x} - 4\pi\varepsilon \mathfrak{X}.$$

Wenn nun die beiden, Condensatorflächen übrigens durch eine nicht von inducirten Kräften getroffene metallische Leitung zusammenhängen, wie dies nach den Annahmen der Potentialtheorie in unseren Versuchen der Fall war, so wäre φ in beiden Condensatoren gleich,

folglich in ihrem engen Zwischenraume $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0$ und die gebundene Elektrizität

$$e = -\epsilon \mathfrak{X}.$$

Wenn dagegen nach den Annahmen der Ampère'schen Theorie die gesammte elektromotorische Kraft $\mathfrak{X}h$ in dem metallischen Kreise wirkte, so wäre der Unterschied der Potentiale an beiden Flächen gleich $-\mathfrak{X}h$ zu setzen, also im Zwischenraume

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\mathfrak{X}$$

wobei h den Abstand beider Flächen bezeichnet, und

$$e = -\left(\frac{1}{4\pi} + \epsilon\right)\mathfrak{X}.$$

Ist ϵ sehr groß, so werden beide Werthe merklich gleich, das heißt, dann würde auch unter Annahme des Potentialgesetzes die elektrische Ladung nahehin so groß werden, als sie es nach dem Ampère'schen seyn müßte, so wie es in unseren Versuchen in der That der Fall war. Ist ϵ unendlich groß, so würde jeder Unterschied zwischen beiden Fällen schwinden. Daß daraus nicht geschlossen werden dürfte, daß auch die Ladungen unendlich groß werden, weil dann andere Bestimmungen der elektrischen Maasseinheiten nöthig werden, habe ich schon in meiner mehrerwähnten Abhandlung erörtert.

Die Entscheidung zwischen den beiden noch übrig bleibenden Theorien, deren eine aus der Ampère'schen Hypothese abgeleitet ist und nur Fernwirkungen von Leiter zu Leiter berücksichtigt, und andererseits der Maxwell'schen (bezüglich dem die Isolatoren mitberücksichtigenden Potentialgesetz) wird wohl zunächst durch Untersuchung der auf die Isolatoren ausgeübten elektrodynamischen Wirkungen gewonnen werden müssen.

**V. Zur Widerlegung des elementaren Potentialgesetzes von Helmholtz durch elektrodynamische Versuche mit geschlossenen Strömen;
von F. Zöllner**

(Aus den Berichten d. Sächs. Ges. d. W. Februar 1876.)

Hr. Helmholtz hat am 17. Juni 1875 in einer Gesamtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin ¹⁾ das in neuerer Zeit von ihm für *Stromelemente* aufgestellte und bisher gegen Einwände von Bertrand, C. Neumann, Riecke und mir vertheidigte Potentialgesetz zurückgezogen. Die Veranlassung hierzu gaben Experimente, deren Prinzip Hr. Helmholtz bereits in Borchardt's Journal für Mathematik Bd. 78, S. 281 angedeutet hatte. Hr. N. Schiller hat nun diese Versuche im physikalischen Laboratorium der Universität zu Berlin wirklich ausgeführt und seitdem in Moskau mit vollkommeneren Apparaten fortgesetzt. Durch diese Experimente sollte entschieden werden, „ob eine Elektricität ausströmende Spitze die Wirkung eines Stromendes zeige, da die durch Fortbewegung der elektrisch abgestoßenen Luft fortgeführte Elektricität möglicherweise nicht als elektrodynamische Fortsetzung der durchströmten Leitung in Betracht kam“ (p. 405). Nach Hrn. Helmholtz schreibt das Potentialgesetz elektrodynamische Wirkungen nur der in ponderablen Trägern sich bewegenden Elektricität zu, nicht aber der convectiv fortgeführten. Es war also zu versuchen, ob eine Elektricität ausströmende Spitze die Wirkung eines Stromendes zeige, da die durch die Fortbewegung der elektrisch abgestoßenen Luft fortgeführte Elektricität möglicherweise nicht als elektrodynamische Fortsetzung der durchströmten Leitung in Betracht kam.

1) Helmholtz, Versuche über die im ungeschlossenen Kreise durch Bewegung inducirten elektromotorischen Kräfte. Monatsbericht der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1875, Juni 17. S. 404 bis 418.

„Es wurde daher bei den erwähnten Versuchen ein geschlossener Stabring mit einem Leitungsdrahte umwickelt und magnetisirt“. „Der Ring wurde an einem langen Coconfaden aufgehängt in einem Gehäuse, welches äußerlich ganz mit Stanniol überdeckt wurde, um elektrostatische Anziehungskräfte auszuschließen“. „Durch eine von aussen genäherte metallene Spitze strömte die gesammte durch eine schnell gedrehte Holtz'sche Maschine entwickelte Elektricität in die Luft aus. Die Spitze wurde derjenigen Seite des Kastens gegenübergestellt, wo sich immer der eine verticale Theil des Ringes befand. *Der Ring hätte unter diesen Umständen eine Ablenkung erfahren müssen, wenn die Spitze als Stromende im Sinne der Potentialtheorie wirkte. Das Resultat der so angestellten Versuche war aber durchaus negativ.* Hr. N. Schiller hat seitdem diese Versuche in Moskau mit vollkommeneren Apparaten fortgesetzt, unter Bedingungen, wo die Gröfse der Magnetisirung des Ringes und die Intensität des von der Elektrisirmaschine gelieferten Stromes genau bestimmt, und nachgewiesen werden konnte, *dafs die nach dem Potentialgesetze zu erwartende Ablenkung grofs genug seyn würde, um sicher beobachtet werden zu können, wenn sie existirte. Die Resultate waren ebenso rein negativ*“ (S. 406).

Aus dem Mißlingen dieser Versuche, zu deren Anordnung Hr. Helmholtz vom Standpunkte seines elementaren Potentialgesetzes geführt worden ist, zieht derselbe den Schluß, „*dafs die Potentialtheorie, wenn in ihr nur die in den Leitern vorkommenden elektrischen Bewegungen und deren Fernwirkungen berücksichtigt werden, mit den Thatfachen in Widerspruch tritt*“ (S. 412).

Hr. Helmholtz befindet sich daher bezüglich dieses Resultates gegenwärtig in voller Uebereinstimmung mit dem bereits früher von mir durch *andere Versuche* erlangten Ergebnifs, dafs sein *elementares* Potentialgesetz „mit

1) Poggendorff's Annalen Bd. CLIV, S. 323.

den von C. Neumann und E. Riecke erwähnten Thatsachen der Beobachtung in Widerspruch treten würde¹⁾“.

Man wäre nun berechtigt, diese schöne Uebereinstimmung, zu welcher theoretisch und experimentell so gänzlich verschiedene Wege geführt haben, als ein höchst erfreuliches und für den ferneren Fortschritt der Wissenschaft auch erspriessliches Resultat zu betrachten, indem sich gezeigt hat, daß eine, von den bisherigen Gesetzen Ampère's und Weber's abweichende und mit großem Aufwand von *mathematischem* Scharfsinn entwickelte Theorie zu einem Ergebniss geführt hat, welches „mit den Thatsachen in Widerspruch tritt“.

Allein einer solchen Anschauungsweise würde Hr. Helmholtz keineswegs seine Zustimmung ertheilen. Denn gleichzeitig mit der Zurücknahme seines Potentialgesetzes erklärt derselbe sämtliche bisher gegen dasselbe von C. Neumann, Riecke, Herwig u. A. erhobenen Einwendungen einfach als „nichtige“.²⁾ Ebenso nichtig seyen alle meine bisherigen Experimente, welche ich theils in den Berichten der Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W.³⁾, theils in Poggendorff's Annalen⁴⁾ zu dem Zwecke mitgetheilt habe, jenen gegenwärtig von Helmholtz selbst erkannten Widerspruch seines Gesetzes mit den Thatsachen zu beweisen, denn, — sagt Hr. Helmholtz, — „alle Versuche, dies durch Untersuchungen an geschlossenen Strömen leisten zu können, sind principiell falsch angelegt“ (S. 403 a. a. O.).

So gern ich daher auch geneigt gewesen wäre, in einer über fünf Jahre hindurch mit so großer Beharrlichkeit fortgeführten Controverse Hrn. Helmholtz das letzte Wort zu gestatten, so glaube ich dies doch nach seinen

1) Poggendorff's Ann. Bd. CLIV, S. 323.

2) Die betreffenden Worte von Helmholtz lauten a. a. O. folgendermaassen: „Ich brauche wohl kaum daran zu erinnern, daß ich das Potentialgesetz bisher zwar gegen nichtige Einwände vertheidigt habe, aber doch immer nur als ein solches, über dessen Richtigkeit endgiltig nur neue Versuche entscheiden könnten“.

3) Sitzung vom 8. August 1874.

4) Pogg. Ann. Bd. 154, S. 321 ff.

obigen
und d
unserer

Zu
Helm
daß, v
geschl
ren P
seyen“
von C
dynam
bende
schau
einwir
Neun
Abhan
macht
damit
men a
Potent
indem

F
a
v
b
A
v
t
H
HH.
setzun

1) B
bi
S.
2) D

obigen Erklärungen im Interesse einer *wissenschaftlichen* und *definitiven* Klarstellung der obschwebenden Differenz unserer Anschauungen nicht thun zu dürfen.

Zunächst erlaube ich mir zu constatiren, daß Hr. Helmholtz bereits selbst anerkannt und zugegeben hat, daß, *unter einer bestimmten Voraussetzung*, „Versuche an geschlossenen Strömen“ zur Widerlegung seines *elementaren* Potentialgesetzes *nicht* „principiell falsch angelegt seyn“. Diese Voraussetzung besteht darin, daß bei den von C. Neumann, Riecke und mir angeführten elektrodynamischen Rotationen, die den beweglichen Leiter treibende Kraft, in Uebereinstimmung der bisherigen Anschauungen, auf *alle* Elemente des Leiters selber *direct* einwirke. Unter dieser Voraussetzung, welche von C. Neumann und Riecke *vor* dem Erscheinen der dritten Abhandlung von Helmholtz ¹⁾ als selbstverständlich gemacht wurde, erklärt sich Hr. Helmholtz vollkommen damit einverstanden, daß jene *nur mit geschlossenen Strömen* ausführbaren Rotationsversuche zur Widerlegung seines Potentialgesetzes *principiell richtig angelegt seyn würden*, indem er S. 306 a. a. O. wörtlich erklärt:

„Hr. Riecke hat recht, daß in diesem Falle das Potential, welches die Kreisströme auf den Radius ausüben, sich bei dessen Bewegung nicht ändert, weil er immerfort in symmetrischer Lage zu ihnen bleibt“.

„An ähnlichen Beispielen hat Hr. C. Neumann Anstofs genommen ²⁾ und leugnet deshalb die Anwendbarkeit des von seinem Vater aufgestellten Potentialgesetzes auf Stromelemente“.

Hr. Helmholtz sucht nun aber zu beweisen, daß die HH. C. Neumann und Riecke sich in ihrer Voraussetzung, unter welcher jene Rotationsversuche, wie Hr.

1) Borchardt's Journal für Mathematik, Bd. 78, Heft 4, S. 273 bis 324 und Monatsberichte der Berl. Akademie d. W. 6 Febr. 1873, S. 92 bis 104.

2) Die elektrischen Kräfte. Leipzig 1873, S. 77 bis 79.

Helmholtz zugiebt, im Widerspruch mit seinem Potentialgesetze stehen würden, geirrt hätten. Es sey vielmehr eine nothwendige Consequenz seines Potentialgesetzes, daß jene von den Magneten oder dem Solenoid erzeugten Kräfte, durch welche der bewegliche Leiter in Bewegung gesetzt wird, *nicht direct alle Elemente desselben* afficirten, sondern *nur* diejenigen, welche in der Uebergangsschicht, d. h. in der sogenannten *Gleitstelle* liegen, zwischen dem Ende des starren Leiters und der Flüssigkeit, in welche derselbe eintauchen muß, um bei geschlossenem Strome beweglich zu seyn. Nur *diese Elemente* in der Gleitstelle seyen es, auf welche die elektrodynamisch vom Magneten ausgeübten Kräfte *direct* wirkten, und hierdurch werde, erst *indirect*, ähnlich wie der Körper einer Locomotive durch den Angriff der treibenden Kraft auf die Räder ¹⁾, der übrige starre Theil des Leiters fortgeführt. Dem entsprechend erklärt Hr. Helmholtz, alle die von Neumann und Riecke gegen sein Potentialgesetz gemachten Einwände für *nichtig*, und giebt gleichzeitig ziemlich deutlich zu verstehen, daß beide Herren ebenso wie Hr. Bertrand in Paris bei größerer Gewandtheit in der Mathematik, sich eigentlich selber durch „eine methodische Durchführung des Beweises mit Beseitigung der früheren beschränkenden Annahmen“ ²⁾ aus seinem Potentialgesetze jene Folgerungen hätten ableiten können. Denn, sagt Hr. Helmholtz, „die mathematischen Methoden dafür waren durch die früheren Arbeiten gegeben“ und es wäre das, was dem vollständigen Beweise des Potentialgesetzes noch fehlte, „jetzt verhältnißmäßig leicht zu ergänzen“ gewesen. Hr. Helmholtz glaubt sich daher auch dem Leserkreise eines so hoch stehenden mathematischen Journalen gegenüber zu einer besonderen Entschuldigung verpflichtet, daß er überhaupt für eine solche Arbeit einen Platz in diesem Journale in Anspruch nehme, indem er wörtlich (S. 276 a. a. O.) bemerkt:

1) Diesen Vergleich gestatte ich mir zur Verdeutlichung.

2) Dritte Abhandlung, S. 176.

d
g
d
d
C
P
d
g
H
d
v
A
Bewe
Kräfte
a
t
D
in ihr
C. N
Poten
nen l
den C
schen
Hrn.

1) M
8

„Die mathematischen Methoden dafür waren durch die früheren Arbeiten gegeben, und ich würde kaum gewagt haben, für eine solche Arbeit den Platz in diesem Journale in Anspruch zu nehmen, wenn nicht die Schwierigkeiten, auf welche die HH. Bertrand, C. Neumann und Riecke bei der Anwendung des Potentialgesetzes gestossen sind, und die Einwände, die sie daraus hernehmen zu dürfen glaubten, mir gezeigt hätten, daß eine methodische Durchführung des Beweises mit Beseitigung der früheren beschränkten Annahmen wünschenswerth und nützlich seyn würde“.

Als Resultat dieser methodischen Durchführung des Beweises „ergiebt nun das Potentialgesetz aufser den Kräften von Stromelement auf Stromelement noch weiter:

- a) Kräfte zwischen Stromelementen auf Stromenden,
- b) Kräfte zwischen Stromenden“¹⁾.

Die unter b) angeführten Kräfte sind es nun, welche in ihrer Anwendung auf *Gleitstellen* alle die von Bertrand, C. Neumann und Riecke gegen das Helmholtz'sche Potentialgesetz angeführten Bedenken als *nichtige* erscheinen lassen. Denn diese Kräfte zwischen Stromenden an den Gleitstellen erklären vollständig jene elektrodynamischen Rotationen. So bemerkt z. B. Hr. Helmholtz: Hrn. Riecke gegenüber

„Wenn, wie in dem Beispiel von Hrn. Riecke, ein Radius eines Kreises den Strom vom Mittelpunkte desselben, um den er drehbar ist, zur leitenden Peripherie führt, und dabei unter dem Einflusse anderer concentrischer Kreisströme steht, so wirkt, wie Hr. Riecke richtig bemerkt, *nach dem Potentialgesetz unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil des Radius*, dessen relative Lage gegen die Kreisströme sich nicht verändert und es kommt allein das Kräftepaar zur Erscheinung, welches auf die Uebergangsschicht

1) Monatsberichte d. Königl. Akademie d. W. zu Berlin 6. Febr. 1873. S. 99.

an der Gleitstelle wirkt. *Dieses aber bedingt in der That den ganzen Erfolg*¹⁾.

Nachdem nun die ganze Controverse in diese Phase der Entwicklung getreten ist, erkennt Hr. Helmholtz offenbar mit voller Klarheit, daß das ganze Gebäude seiner Prämissen und mathematischen Deductionen, mit deren Hülfe er sein Potentialgesetz entwickelt hat, nothwendig zusammenbrechen muß, wenn sich Experimente anstellen lassen, welche jene aus dem Potentialgesetze abgeleitete Wirkungsweise der Gleitstellen *schlagend widerlegen*. Denn von nun an, wo der Schwerpunkt der ganzen Streitfrage in die *experimentelle Widerlegung der treibenden Kraft in den Gleitstellen* verlegt ist, betont Hr. Helmholtz bei jeder Gelegenheit in den verschiedensten Formen und Wendungen, wie man sich diese Wirkungsweise der Gleitstellen etwa zu denken und anschaulich zu machen habe. Zum Beweise meiner Behauptung gebe ich hier eine kleine Zusammenstellung dieser charakteristischen Erläuterungen.

Hr. Helmholtz behauptet nämlich, bei der elektrodynamischen Rotation des beweglichen Leiters seyen:

„die Vorgänge in der Gleitstelle allein in diesem Falle das Treibende“²⁾ und es wirkte „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“³⁾ sondern es käme „allein das Kräftepaar zur Erscheinung, welches auf die Uebergangsschicht an der Gleitstelle wirkt“⁴⁾. Vielmehr ergäbe sich aus seinem Potentialgesetze, „daß rotirende Kräfte auf die stromleitenden Flüssigkeitsfäden des Quecksilbers oder der Elektrolyten einwirkten, durch welche man dem peripherischen Ende des Bügels den Strom zuleiten muß“⁵⁾ und nur hierdurch entstände jene Rotation, denn es würden durch

1) A. a. O. 102.

2) Borchardt's Journ. Bd. 79, S. 306.

3) Ebendas. S. 302.

4) Ebendas. S. 302.

5) Pogg. Ann. Bd. 153, S. 549.

jene „rotirenden Kräfte“ „die dem Leiter adhärirenden Theile dieser Flüssigkeitsfäden im Sinne der wirklich stattfindenden Rotation fortbewegt und nehmen den festen Leiter mit“¹⁾).

Aus allen diesen Erläuterungen geht wohl zur Genüge hervor, welches bedeutende Gewicht Hr. Helmholtz selber, und zwar mit vollem Rechte, auf die einzige Stütze seines Potentialgesetzes legt, nämlich auf die aus demselben *mathematisch* deducirte *Mechanik der Gleitstellen*. Nachdem sich daher in dieser greifbaren Gestalt die ganze Controverse um einen bestimmten und experimentell erreichbaren Punkt gruppiert und consolidirt hatte, war ich entschlossen, mit Hülfe von *Experimenten* diese endgültige Entscheidung herbeizuführen. Diese Experimente waren daher ausschliesslich nur auf eine Widerlegung der Helmholtz'schen Mechanik der Gleitstellen gerichtet. Da jedoch diese Mechanik nur die *einzige* Stütze des Helmholtz'schen Potentialgesetzes war, so mußte durch eine experimentelle Widerlegung dieser Gleitstellentheorie auch das unzertrennlich mit letzterer verbundene *elementare* Potentialgesetz experimentell widerlegt seyn.

Demgemäß wurde von mir zunächst der Faraday'sche elektrodynamische Rotationsversuch einfach dahin abgeändert, daß die Enden des beweglichen Bügels nicht, wie gewöhnlich, direct in das Quecksilber tauchten; sondern mittelst längerer Ketten, die lose in den hakenförmig umgebogenen Enden des beweglichen Bügels lagen, mit dem Quecksilber in leitender Verbindung standen. In diesem Falle befinden sich die wirksamen Gleitstellen, über welche bei der Rotation des Bügels die Kette hinweggleitet, zwischen dem untersten Ringe und der Quecksilberoberfläche, auf welcher derselbe schwimmt. Wären nun bei der elektrodynamischen Rotation des Bügels nach der Gleitstellentheorie von Helmholtz „die Vorgänge in der Gleitstelle allein in diesem Falle das Treibende“ und

1) Pogg. Ann. Bd. 153, 8. 549.

wirkte „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“, so erschien es mir nothwendig, daß, — mit Rücksicht auf die im Drehpunkte des Bügels jederzeit zu überwindende Reibung, — der auf dem Quecksilber schwimmende Ring, an welchem sich die Gleitstellen befinden, im Sinne der Rotation vorausgehen müsse, ähnlich wie ein Pferd, wenn es mit Hülfe einer längeren Kette einen Wagen oder die horizontale Axe einer Winde bewegen soll, nothwendig im Sinne der Bewegung dem bewegten Gegenstand *voraus* gehen muß. Auch konnte man an dem von mir beschriebenen Apparate einem Jeden, der dem vorstehenden Satze als keinem mathematisch bewiesenen, seine unbedingte Zustimmung versagen sollte, die Richtigkeit desselben direct durch das Experiment beweisen. Es war zu diesem Zwecke nur erforderlich, die Oberfläche des Quecksilbers durch ein stetig in demselben Sinne fortgesetztes Umrühren in Rotation zu versetzen. Alsdann waren *mechanisch* dieselben Bedingungen realisirt, wie sie Hr. Helmholtz bei seiner Mechanik der Gleitstellen vorausgesetzt hatte. Denn es wirkte auch bei diesem Experimente, wie nach Helmholtz bei elektrodynamischen Rotationen „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“ des beweglichen Bügels, sondern es wurden nur „die dem Leiter adhären den Theile von Flüssigkeitsfäden im Sinne der wirklich stattfindenden Rotation fortbewegt und nehmen den festen Leiter mit“. Demgemäß geht auch in diesem Falle — wie ein angekettetes Pferd dem Wagen oder der von ihm in Rotation gesetzten Winde — der auf dem Quecksilber schwimmende Ring im Sinne der Rotation des Quecksilbers *voraus* und zieht mit Hülfe der Ketten den beweglichen Bügel *nach* sich. Versetzt man nun aber diesen Bügel *elektrodynamisch* in Rotation, so findet stets das *Entgegengesetzte* statt. *Der bewegliche Bügel geht voran* und zieht mit Hülfe der gespannten Kette den auf dem Quecksilber schwimmenden und dort stets etwas adhären den Ring im Sinne der Rotation *nach* sich.

Mit Rücksicht sowohl auf diese Versuche als auch auf andere von Hrn. Herwig¹⁾ angestellte Experimente behauptet nun Hr. Helmholtz in seiner Erwiderung, es seyen „elektrodynamische Versuche beschrieben worden, welche nach Ansicht ihrer Urheber geeignet seyn sollen, das von Hrn. F. E. Neumann (dem Vater) aufgestellte und von mir in erweiterter Anwendung durchgeführte Grundgesetz der elektrodynamischen Erscheinungen als unvereinbar mit den experimentellen Erfahrungen darzustellen“.

Da es nun aber weder Hrn. Herwig noch mir auch nur entfernt in den Sinn kommen konnte, durch die erwähnten Versuche, „das von Hrn. F. E. Neumann aufgestellte Grundgesetz der elektrodynamischen Erscheinungen als unvereinbar mit den experimentellen Erfahrungen darzustellen“, wohl aber das von Hrn. Helmholtz für *Strom-elemente* „erweiterte“ Potentialgesetz, so sah ich mich zur Vermeidung von Mißverständnissen genöthigt in meiner letzten Abhandlung²⁾ bei jeder Gelegenheit, wo ich Veranlassung fand, das „Helmholtz'sche Potentialgesetz“ zu erwähnen, ausdrücklich hinzuzufügen, „nicht das Neumann'sche Potentialgesetz“. Denn sowohl das F. Neumann'sche als das Weber'sche Grundgesetz der elektrodynamischen Erscheinungen *sind beide direct aus dem Ampère'schen Gesetze abgeleitet*, und zwar letzteres unter Annahme zweier *atomistisch constituirter elektrischer Fluida*. Hrn. Herwig's und meine Versuche hatten vielmehr, wie Hr. Helmholtz doch wissen mußte, den ausgesprochenen Zweck, die Richtigkeit des F. Neumann'schen Potentialgesetzes in solchen Fällen zu beweisen, wo die Helmholtz'sche Gleitstellentheorie, — ohne welche das *elementare* Potentialgesetz zu Widersprüchen mit F. Neumann's Potentialgesetz führt — gar keine Anwendung

1) Poggendorff's Ann. Bd. 153, S. 262. Eine Modification des elektromagnetischen Drehversuches von H. Herwig.

2) Pogg. Ann. Bd. 154, S. 321.

finden konnte. Deshalb schien es mir nothwendig, wie ich gegenwärtig ausdrücklich bemerke, gegen die möglichen Folgerungen aus einer solchen, mindestens sehr incorrecten, Ausdrucksweise des Hrn. Helmholtz Vorkehrungen in Form jener stereotyp wiederkehrenden Bemerkung „nicht das Neumann'sche Potentialgesetz“ zu treffen.

Hr. Helmholtz wendet nun S. 549 a. a. O. gegen den oben von mir beschriebenen Versuch ein, daß die in Form von Ketten angebrachten beweglichen Theile des rotirenden Bügels „durch die elektromotorischen Kräfte, denen sie ausgesetzt sind, entsprechend gerichtet werden“. In der Meinung, mich über diese Thatsache zu belehren, fährt Hr. Helmholtz mit folgenden Worten fort:

„Da nun bekanntlich ein Magnet einen seiner Längsaxe parallel neben ihm herlaufenden Stromleiter nach dem Ampère'schen, wie nach dem Potentialgesetze quer gegen seine Längsaxe, daß heißt parallel den dem Drahte zugewendeten Seiten seiner Kreisströme, zu stellen sucht, so geschieht das auch in diesem Falle, so, wie es der genannte Autor beobachtet hat.“

„..... Diese so einfache und bei folgerichtiger Anwendung des Princip's sich nothwendig ergebende Erklärung der Zöllner'schen Versuche hat auch Hr. C. Neumann (Sohn) übersehen, indem er (Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. W. 8. Aug. 1874, S. 145) die Erwartung ausspricht, daß diesen Versuchen gegenüber die Potentialtheorie nicht mehr zu halten seyn würde.“

Bei dieser Demonstration scheint es nun Hr. Helmholtz für ganz gleichgültig zu halten, ob jene Querstellung, welche ein Magnet an einem „seiner Längsaxe parallel neben ihm herlaufenden Stromleiter nach dem Ampère'schen wie nach dem Potentialgesetze“ hervorruft, durch eine Drehung in dem *einen* oder im *entgegengesetzten* Sinne erfolgt.

Der Sinn dieser Drehung ist aber, bei *constanter Rich-*

tung des Stromes, für einen einseitig beweglichen Leiter, von dem Vorzeichen des vorwiegend auf den Leiter einwirkenden Magnetpoles abhängig. Trifft man daher bei einem solchen elektrodynamischen Versuche eine derartige Anordnung, daß die Gleitstellen des beweglichen Bügels, bei *unveränderter Richtung des Stromes im beweglichen Leiter*, in dem einen Falle sich unter dem prävalirenden Einflusse des magnetischen *Nordpoles*, in dem anderen Falle des *Südpoles* befinden, so muß die Richtung, in welcher die von Hrn. Helmholtz angeführte Querstellung des beweglichen Leitertheiles erfolgt, in beiden Fällen die *entgegengesetzte* seyn. Man kann die hierzu erforderlichen Bedingungen sehr leicht durch zwei Quecksilberinnen realisiren, von denen die eine am *oberen*, die andere am *unteren* Pole des verticalen Magneten angebracht ist, wie dies in den Fig. 1 und 2 der beifolgenden Taf. III dargestellt ist. Wendet man nun bei unveränderten Stromrichtungen nacheinander zuerst einen beweglichen Leiter an, dessen kürzere Enden in die obere Quecksilberrinne tauchen, und hierauf einen Leiter, dessen längere Enden in die untere Rinne tauchen, so beobachtet man in beiden Fällen *trotz der Verschiedenheit des einwirkenden Magnetpoles* eine elektrodynamische Rotation des beweglichen Bügels in *dem gleichen Sinne*.

Nach dem Helmholtz'schen Potentialgesetze aber, nach welchem „unmittelbar gar keine Kraft auf den *festen Theil*“ des beweglichen Leiters wirkt und „die Vorgänge in der Gleitstelle *allein* in diesem Falle das Treibende sind“, müßte nothwendig in beiden Fällen eine Rotation im *entgegengesetzten Sinne* stattfinden, da die „rotirenden Kräfte“, welche „auf die stromleitenden Flüssigkeitsfäden des Quecksilbers einwirken“, in dem einen Falle unter der Einwirkung des *Nordpoles*, in dem anderen Falle, bei *unveränderter Richtung des eintretenden Stromes*, unter Einwirkung des *Südpoles* des Magneten oder Solenoides rotiren.

„Da es nun“, wie Hr. Helmholtz selber wörtlich bemerkt¹⁾, „die gleiche drehende Kraft ist, welche auf den beweglichen Draht und auf die stromleitenden Flüssigkeitsfäden wirkt, in die sich sein unteres Ende verlängert“, so müßten auch „die dem Leiter adhärirenden Theile dieser Flüssigkeitsfäden im Sinne der wirklich stattfindenden Rotation fortbewegt“ werden und „den festen Leiter mitnehmen“. Die „wirklich stattfindende Rotation“ des festen Leiters findet nun bei dem oben von mir beschriebenen Experimente in dem einen Falle gerade in entgegengesetzter Richtung von derjenigen statt, welche ihr durch das Helmholtz'sche Potentialgesetz mit Hülfe der Gleitstellenmechanik vorgeschrieben wird. Folglich ist der oben von mir beschriebene Versuch *mit geschlossenen Strömen* ein *experimentum crucis*, welches *eindeutig* und *bedingungslos* den Beweis liefert, daß die vom Helmholtz'schen „Potentialgesetze“ angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren“ und demgemäß diese „Potentialtheorie mit den Thatsachen in Widerspruch tritt.“

Man kann nun das erwähnte Experiment sehr mannichfach modificiren, und ich habe mich bemüht, eine solche Modification desselben ausfindig zu machen, welche in sehr drastischer Weise die Widersprüche zur Anschauung bringt, zu welcher die von Helmholtz aus seinem Potentialgesetze *mathematisch* abgeleiteten Consequenzen in ihrer Anwendung auf die *Wirklichkeit* führen.

Daß die Bewegungsrichtung eines Wagens z. B. einer Locomotive, wenn „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“ wirkt, sondern die treibende Kraft direct nur die Räder in Rotation versetzt, und daher die Locomotive nur vermöge der Reibung ihrer Räder auf den Schienen fortbewegt werden kann, so daß „die Vorgänge in der Gleitstelle allein in diesem Falle das Treibende“

1) Pogg. Ann. Bd. 153, S. 550.

sind — daß, sage ich, in diesem Falle die *Transloca-
tionsrichtung* der Locomotive von der *Rotationsrichtung*
ihrer Räder abhängt und unzertrennlich mit ihr verbun-
den ist, vermag jeder Mensch auch ohne Kenntniß des
Princips der Erhaltung der Kraft und der virtuellen Ge-
schwindigkeiten, ohne Weiteres einzusehen und zu prüfen.
Wäre aber Jemand in einem bestimmten Falle, z. B. bei
geneigter Ebene der Bahn, zweifelhaft, ob die Bewegung
der Locomotive vermöge der *direct* auf sie wirkenden
Schwerkraft oder vermöge der *indirect* auf die Räder wir-
kenden Spannkraft des Dampfes fortgetrieben werde, so
genügte hierzu ein einfaches Experiment. Der Führer
der Locomotive brauchte nur durch abwechselnde Ver-
stellung der Dampfsteuerung die Räder einmal rechts, das
andere mal links herum rotiren lassen. Zeigte sich hier-
bei, daß trotz dieser Umkehr der Rotationsrichtung der
Räder die Bewegungsrichtung der Locomotive dieselbe
bleibt, so würde Jeder hieraus schliessen müssen, daß
nicht „die Vorgänge in der Gleitstelle in diesem Falle
das Treibende sind“, sondern daß vermöge der schiefen
Ebene der Bahn und einer etwa durch Glatteis vermin-
derten Friction „der Gleitstellen“ auf den Schienen die
Locomotive durch die „*unmittelbar* auf den festen Theil“
wirkende Componente der Schwerkraft fortgetrieben wird.

Nur diese trivialen Reflexionen sind es, welche *mutatis
mutandis* auf den in beifolgender Tafel III dargestellten,
und unmittelbar durch die Zeichnung erläuterten Versuch
zu übertragen sind, um Jeden davon zu überzeugen, daß,
wenn bei *festgehaltenem* Bügel das kleine Rad in Fig. 1
und Fig. 2 nach entgegengesetzter Richtung, der beweg-
liche Bügel aber bei *unveränderter Stromrichtung* nach der
gleichen Richtung rotirt, nothwendig auf den Bügel selbst
„*unmittelbar*“ eine Kraft von constanter Richtung aus-
geübt werden muß, um diese Rotation der Bügel in
gleicher Richtung zu bewirken. Nach Ampère's und
Weber's elektrodynamischem Grundgesetze erklärt sich

diese Erscheinung auch sehr einfach, indem der obere *horizontale* Theil des Bügels in beiden Fällen unter dem prävalirenden Einfluß des magnetischen Nordpoles bleibt.

Ich hatte den beschriebenen Versuch schon in meiner letzten Abhandlung angedeutet¹⁾ und hätte es bei dieser Andeutung bewenden lassen, wenn es nicht Hr. Helmholtz in seiner neuesten Publication für zweckmäfsig gehalten hätte, sich in so absprechender Weise über alle von Anderen bisher gegen sein Potentialgesetz erhobene Einwendungen auszudrücken. Es schien mir dies um so nothwendiger, als Hr. Helmholtz gleichzeitig die Resultate von selbst erdachten Versuchen mittheilt, durch welche er sich zu der Erklärung genöthigt sieht, „dafs die vom Potentialgesetze angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren“²⁾ und es ja gerade diese „Wir-

- 1) Pogg. Ann., Bd. 154, S. 328. Die wenigen Worte, mit welcher ich bereits an dieser Stelle den obigen Versuch beschrieb, sind folgende:

„Wurden die Ketten oder frei herabhängenden Kupferdrähte, nach Art des Barlow'schen Rades, durch leicht bewegliche Scheiben von dünnem Kupferblech ersetzt, so rotirten dieselben bei festgehaltenem Bügel *nach entgegengesetzten Richtungen*, je nachdem die Einwirkung des oberen oder unteren Magnetpoles überwog, während die Rotation des sich selbst überlassenen Bügels in beiden Fällen *nach derselben Richtung* erfolgte“. Ich erlaube mir hierbei zu bemerken, dafs zur Ausführung des

Versuches möglichst kräftige galvanische Ströme anzuwenden sind und ebenso für eine hinreichend geringe Reibung in den Axen der Barlow'schen Räder gesorgt werden mufs. Der von mir benutzte Apparat erforderte zum Gelingen des Experimentes drei kräftige Bunsen'sche Elemente für den Elektromagneten und ebenso viele für den beweglichen Bügel.

- 2) Da in dem betreffenden Satze diese Erklärung noch an eine Bedingung geknüpft ist, so theile ich die betreffende Stelle hier noch einmal mit: „Daraus ist also zu schliessen, dafs entweder die vom Potentialgesetze angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren, oder dafs aufser den von diesem Gesetze angezeigten elektrodynamischen Wirkungen auch noch solche der convectiv fortgeführten Elektricität

kung
ganze
bevor
über
Rotat
elemen
liegt
wede
schen
liche
gege
Bere
wie
Ermi
dung

VI.

Au
unte
War
even
Con
der
schv

1)

kungen der Stromenden“ waren, auf denen er seine ganze Mechanik der Gleitstellen basirt hatte, so dafs er, *bevor* diese Mechanik bekannt war, Hrn. Riecke gegenüber bereitwilligst die Beweiskraft elektrodynamischer Rotationsversuche mit *geschlossenen* Strömen gegen sein *elementares* Potentialgesetz anerkannt hatte. Uebrigens liegt es mir durchaus fern, durch diese Bemerkungen weder die wissenschaftliche Bedeutung der Helmholtz'schen Versuche noch die zu ihrer Auffindung erforderliche Erfindungsgabe irgendwie den Rotationsversuchen gegenüber herabzusetzen. Vielmehr erkenne ich auf das Bereitwilligste an, dafs auch zu diesen Versuchen, ebenso wie „z. B. bei der Construction optischer Instrumente und der Ermittlung optischer Methoden Scharfsinn und Erfindungsgabe“¹⁾ erforderlich sind.

VI. Ueber einige Formen des auf galvanischem Wege erhaltenen Silbers; von M. Kirmis.

Auf Veranlassung von Hrn. Geheimrath Helmholtz unternahm ich in dessen Laboratorium eine Arbeit über Wanderung der Ionen, deren Hauptzweck es war, den eventuellen Einflufs von Stromstärke, Temperatur und Concentration der angewendeten Lösungen auf die Gröfse der Ueberführung zu bestimmen.

Als Elektrolyte dienten verschiedene Lösungen von schwefelsaurem Kupfer; die Menge des an der Kathode

bestehen, dafs das Potentialgesetz also unvollständig sey, wenn man in ihm nur Rücksicht nimmt auf Fernwirkungen der in den Leitern fortströmenden Elektrizität“.

- 1) Vgl. Helmholtz, Vorrede zum 2. Theil des 1. Bandes zu dem Handbuch der theoretischen Physik von W. Thomson und P. G. Tait. (1874) S. XIV.

ausgeschiedenen Metalles wurde vermittelst eines Silber-voltameters bestimmt.

Im Anfange wendete ich eine Thermobatterie an, durch welche gerade bemerkbare Zersetzung hervorgerufen wurde, und vermehrte die elektromotorische Kraft allmählich und systematisch bis auf 130 Daniell'sche Elemente.

Schon bei 50 Daniell bemerkte ich eine eigenthümliche, regelmäßige Anordnung der Silberkryställchen im Platintiegel des Silbervoltameters, die bei weiterer Verstärkung der elektromotorischen Kraft so scharf hervortrat, daß es mir interessant erschien, die Bedingungen festzustellen, denen diese Anordnung unterworfen ist.

Das Silber wird aus der wässrigen Lösung seiner Salze wesentlich in drei äußerlich verschiedenen Formen durch den Strom abgeschieden: „als deutlich krystallisiertes, als grau schwammiges und als schwarzes Silber.“ Die beiden letzten Modificationen zeigen, nach Vogel¹⁾, bei sehr starker Vergrößerung dieselbe krystallinische Textur und wesentlich dieselben Krystallformen wie die erste.

Unter deutlich krystallisiertem Silber verstehe ich solches, welches mit bloßem Auge, oder bei schwacher Vergrößerung die Krystallform und die Anordnung der Krystalle genau erkennen läßt. Man erhält es stets in Dendriten, die baumförmig, oder moosartig sind und in großen glänzenden Blättern. Die Dendriten sind entweder nach octaëdrischen Axen, oder nach den Axen gewachsen, welche die gegenüberliegenden Ecken eines Hexaëders verbinden.

Die Herstellung aller dieser Formen des Silbers hängt ab von der Stromintensität, von der Concentration der angewendeten Lösung und von der Dichtigkeit des Stromes in einzelnen Punkten. Den wesentlichsten Einfluß zur Erreichung der oben erwähnten, regelmäßigen Anordnung der Silberkryställchen, den Impuls dazu scheint

1) Pogg. Ann. Bd. 117.

jedoch
schen

Die
den St
Wande
Flüssig
schnitt
nomete
tromote
Wand
Lupe l
die An
dünnen
fen, die
fen sch
die St
Feder
Zwisch
als neg
gewöhn
einen
40,0mm
kel mi
nach u
culirte
geschie
Tiegel
einem
positiv
nung
den d
Abstär
Sta
zwei
hufeise
blech
am B

jedoch ein neues Moment, die Gröfse der elektromotorischen Kraft zu geben.

Die Anordnung meiner Versuche war folgende: In den Stromkreis war eingeschaltet: „der Apparat um die Wanderung der Ionen zu bestimmen, bestehend aus einer Flüssigkeitssäule von 580,0^{mm} Länge und 12,5^{mm} Querschnitt, ein Silbervoltameter und — Anfangs ein Galvanometer, später eine Tangentenbussole.“ Bei geringen elektromotorischen Kräften war der Silberniederschlag an der Wand des Platintiegels völlig gleichmäfsig, nur mit der Lupe liefs sich krystallinische Textur erkennen. Als ich die Anzahl der Elemente vermehrte, bemerkte ich auf dünnem Untergrunde erhabene, regelmäfsige Verticalstreifen, die nach einem unbekannten Mittelpunkte hin zu verlaufen schienen, bei 130 Daniell'schen Elementen gewannen die Streifen das Ansehen von Silberlinien, die mit der Feder auf den Platin-Untergrund gezeichnet sind, die Zwischenräume waren völlig frei von Silber. Der bisher als negative Elektrode benutzte Platintiegel war von der gewöhnlichen, stark conischen Form; ich wendete jetzt einen andern an, dessen Grundfläche einen Kreis von 40,0^{mm} Durchmesser, dessen Seite fast einen rechten Winkel mit der Basis bildete; die positive Elektrode war ein nach unten sich zuspitzender Silberstab. Der Strom circulirte 20 Stunden, die Menge des in einer Minute ausgeschiedenen Silbers betrug 2,72^{mgr}. Die Zeichnung im Tiegel war jetzt folgende: „auf der Basis gingen von einem scharf hervortretenden Mittelpunkte, der sich der positiven Elektrode gegenüber befand, in radialer Anordnung gekrümmte Silberlinien aus, die sich an den Wänden des Tiegels parallel und vertical in gleichmäfsigen Abständen fortsetzten.“

Statt des *einen* Centrums lassen sich leicht auch deren zwei erhalten, wenn man als positive Elektrode einen hufeisenförmigen Silberstab oder ein Rechteck aus Silberblech anwendet; in letzterem Falle bietet die Zeichnung am Boden genau den Anblick eines Magnetstabes dar, an

dessen beiden Polen sich Eisenfeile angesetzt hat. Je mehr das Ende der positiven Elektrode von einer scharfen Spitze abweicht, desto undeutlicher wird der Strahlenmittelpunkt.

Die folgenden Versuche zeigen, daß die GröÙe der elektromotorischen Kraft von wesentlichem und bedingendem, die Aenderungen in der Intensität, der Concentration der Lösung und der Stromesdichtigkeit nur von untergeordnetem Einflusse auf die Bildung der erwähnten Linien sind.

Im Ganzen stellte ich 192 systematisch durchgeführte Versuche an, von denen ich hier nur einige wesentliche anführen will. Die Stromstärke gebe ich der bequemen Uebersicht halber, in Graden der von mir benutzten sehr empfindlichen Tangentenbussole.

No.	GröÙe der elektromotorischen Kraft	Stromstärke	Zeitdauer in Stunden	Die Lösung enthielt in 100 Th. an salpetersaurem Silber	Form des Silberniederschlags
1	Thermobatterie = 10 Daniell	0,25°	40 ^h	4 Th.	völlig gleichmäßiger Silberüberzug
2	50 Daniell	1,5	20	4 "	undeutliche Zeichnung
3	130 Daniell	4	20	4 "	die oben angeführte Streifung
4	1 Daniell	4	20	4 "	gleichförmiger Silberüberzug
5	5 Daniell	16,5	4	4 "	der Platintiegel ist mit blättrigen Silberkrystallen angefüllt
6	130 Daniell	4,2	20	1 "	die oben beschriebene Zeichnung
7	130 Daniell	3,8	20	15 "	die oben beschriebene Zeichnung
8	130 Daniell	3,8	20	30 "	keine Zeichnung

Man sieht aus 3) und 4), daß bei genau gleicher Stromstärke, in derselben Zeit, bei derselben Concentration der Silberlösung und ich muß hinzufügen, der nämlichen Form der Elektroden die Bildung der Zeichnung nicht stattfindet, wenn die elektromotorische Kraft nicht eine gewisse GröÙe erreicht.

Ist die Intensität sehr groß (5), dann geht die Bildung des Niederschlages schnell vor sich; Dendriten und blattartige Krystalle füllen bald den Tiegel.

Um den eventuellen Einfluß der Concentration der Lösung zu suchen, wendete ich unter sonst gleichen Verhältnissen nacheinander Lösungen an, die erst 1, 2, 3 . . . 10, dann 10, 15, 20 . . . Th. salpetersauren Silbers in 100 Th. Lösung enthielten. Bei 15 Proc. Silbergehalt wurde die Streifung undeutlich, bei 30 Proc. hörte sie ganz auf, die Wände des Tiegels waren dann mit großen warzenförmigen, dendritischen Gebilden bedeckt, am Boden jedoch blieben, selbst bei noch größerer Concentration der Lösung, Spuren regelmäßiger Zeichnung sichtbar.

Die Stromesdichtigkeit ist ohne Einfluß auf die Bildung der Streifen; dagegen ist die Deutlichkeit des radialen Mittelpunktes am Boden, von der spitzen Form der positiven Elektrode d. h. von der größeren Dichtigkeit in einem Punkte abhängig.

Hiermit sind die Bedingungen für die Hervorbringung der Zeichnung fixirt, sie sind:

- 1) Eine bedeutende elektromotorische Kraft.
- 2) Die Intensität darf eine gewisse Gränze nicht überschreiten (pro \square Ctm. und Minute darf nicht mehr als 0,28^{mgr} Silber ausgeschieden werden).
- 3) Die Lösung darf in 100 Th. höchstens 25 Th. Silbersalz enthalten (die beste Concentration ist zwischen 5 und 10 Proc.).
- 4) Eine positive Elektrode mit scharfen Spitzen ist für die Bildung von deutlichen Strahlenmittelpunkten erforderlich.

Wie diese bedingenden Ursachen in einander greifen zu erforschen, muß späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Jedenfalls ist die etwaige Annahme, daß die Verticalstreifen auf der Seite des Tiegels nur auf Flüssigkeitsströmungen beruhen, die durch die stetig leichter werdende Silberlösung hervorgerufen werden, nicht sehr wahrscheinlich. Denn einmahl ließe sich dadurch die große Regelmäßigkeit der Zeichnung und der gleichmäßige Abstand der Streifen nicht erklären, und dann mußte jedes Hinderniß die, nur den Gesetzen der Schwere folgende, Strömung aus ihrem Laufe ablenken. Ich theilte aber die Wand des Tiegels durch einen Querbalken von Kitt und trotzdem waren keinerlei Abweichungen von der Verticale in der Zeichnung bemerkbar.

Dieselbe, wenn auch undeutlichere, Verticalstreifung wie Silber, zeigte Kupfer, welches unter gleichen Bedingungen wie jenes aus der Lösung seines schwefelsauren Salzes gefällt war.

Eine interessante Beobachtung muß ich noch erwähnen, die ich mit Hülfe der mir zu Gebote stehenden starken elektromotorischen Kraft machte. Es ist bekannt, daß sich unter gewissen Verhältnissen aus einer Silberlösung an der negativen Elektrode ein schwarzer Ueberzug ausscheidet, den man Anfangs für Silberhydrür hielt, von dem aber Poggendorff bewies, daß er eine eigene Modification des Silbers ist. Poggendorff beobachtete auch zuerst, daß bei vorsichtigem Öffnen des Stromes dieser schwarze Niederschlag seine Farbe ändert und gelblich weiß wird, dagegen gelang es ihm nicht, diese gelblich weiße Modification wieder in die schwarze zurückzuführen¹⁾. Mit Hülfe einer starken Nor'schen Thermobatterie gelang es mir leicht unter Beobachtung der von Poggendorff angegebenen Bedingungen den schwarzen Niederschlag zu erhalten. Als positive Elektrode diente mir ein Silberstab, als negative ein kleiner Platinlöfel,

1) Pogg. Ann. Bd. 75.

der
koh
er, j
weite
tete
130
sam
sich
Silbe
Z
des
einig
wäss
schie
M
als A
kryst
Fläch
deutl
Octa
Form
thum
der C
einer
dene
wach
Hexa
men
Wac
der
hung
E
gung
Unte
I
der C

der Niederschlag erschien intensiv schwarz, von blumenkohlartiger Form. Oeffnete ich die Kette, so veränderte er, je nach der Menge, entweder blitzartig, oder langsam weiterglimmend seine Farbe in ein gelbliches Grau. Schaltete ich nun statt der Thermobatterie, eine Säule von 130 Daniell ein, so ging dieses gelblich graue Silber langsam wieder in die schwarze Modification über, es bildete sich nicht etwa nur ein neuer Ueberzug von schwarzem Silber, die ganze Masse wurde durchweg schwarz.

Zum Schlufs will ich noch eine genauere Beschreibung des Baues der abgehandelten Silberstreifen geben, und einige Beobachtungen über die Krystallformen des aus den wässrigen Lösungen seiner Salze durch den Strom abgeschiedenen Silbers hinzufügen.

Mit bloßem Auge betrachtet erscheinen die Streifen als Aneinanderhäufungen von moosartigen Dendriten, deren krystallinische Natur sich nur durch einzelne spiegelnde Flächen verräth. Bei 45facher Vergrößerung erkennt man deutlich Würfel, Octaëder, Würfel mit untergeordnetem Octaëder, und Octaëder mit untergeordnetem Würfel; andere Formen wahrzunehmen gelang mir nicht. Die Wachstumsrichtungen zu bestimmen ist wegen der geringen Gröfse der Objecte sehr schwer, doch konnte ich in vielen Fällen einen oder mehrere parallele Hauptäste unterscheiden, von denen Verzweigungen ausgingen, die nach den Axen gewachsen waren, welche die gegenüberliegenden Ecken des Hexaëders verbinden. Würde es gelingen gröfsere Formen zu erhalten, an denen man genau die Gesetze des Wachstums bestimmen könnte, so wäre damit vielleicht der Weg zur ungezwungensten Erklärung für die Entstehung jener Silberstreifen angebahnt.

Es war natürlich, dafs ich auch unter anderen Bedingungen entstandene Silberdendriten in das Bereich meiner Untersuchungen zog.

Ich fand, dafs Aenderungen in der Stromintensität und der Concentration der Lösungen von wesentlichem Einflufs

auf die Krystallform und die Wachstumsrichtung sind. Füllt man eine verticalstehende Glasröhre mit concentrirter Lösung von salpetersaurem Silber und leitet den Strom von 3 Bunsen'schen Elementen hindurch, so bilden sich am negativen Pole Dendriten, die ich in fast allen Fällen nach octaëdrischen Axen gewachsen fand und deren Structurverhältnisse schon mit der Lupe sehr deutlich zu erkennen waren. In einem Falle bemerkte ich außer den angegebenen Krystallformen, Combination vom Lucitoid mit dem Octaëder und Würfel, dagegen gelang es mir nie, trotz strengen Einhaltens der vorgeschriebenen Bedingungen, Zwillinge von einem Hexakis-octaëder zu erhalten, welche Seykauf mittelst des Stromes darstellte und Dauber beschrieb¹⁾.

Durch die Güte von Hrn. Prof. Websky war es mir möglich die dendritischen Silberbildungen, welche sich in der hiesigen Mineraliensammlung befinden, zu untersuchen, und es scheint, daß die beiden Wachstumsrichtungen, die trigonale und die octaëdrische nach verschiedenen Fundorten gesondert sind. Die ausgezeichneten Dendriten auf Quarz aus Peru zeigten sämtlich trigonales Wachstum, während solche aus der Grube Wittichen nach octaëdrischen Axen gewachsen sind. Ein genaueres Studium der künstlichen Silberdendriten und der Bedingungen für ihre Bildung dürfte eine erwünschte Hülfe für die geologische Erklärung der natürlichen seyn.

1) Liebig's Ann. d. Chem. u. Ph. Bd. 78.

VII
gu

In
der
oder
als
Pfeif
der
Stöf
seyn
Einig
regel
einen
reflec
mäße
Luft
S
phys
der
groß
war
gleich
ben
wird
Ström
vorbe
Pfeif
verha
diese
stoffs
Pog

VII. *Die Schwingungs-Erregung und die Bewegung der Luftsäule in offenen und gedeckten Pfeifen;*

von *Fr. W. Sonreck,*

Orgelbaumeister in Cöln.

In den physikalischen und akustischen Lehrbüchern wird der Proceß, welcher sich beim Anblasen einer offenen oder gedeckten Pfeife vollzieht, bisher noch so dargestellt, als ob der Luftstrom, welcher aus der Kernspalte des Pfeifenfußes hervordringt und sich gegen die obere Kante der Anblaseöffnung bricht, auf die Luftsäule der Pfeife Stöße ausübte. Diese Stöße sollen dann die Ursache seyn, aus welcher die Luftsäule in Schwingung geräth. Einige Physiker nehmen an, daß die Stöße anfangs *unregelmäßig* seyn könnten; sie würden aber sehr bald bei einer gut ansprechenden Pfeife, durch den Einfluß der reflectirten Wellen, regulirt. Alsdann sollen sich regelmäßige stehende Schwingungen bilden, durch welche die Luftsäule in der Pfeife selbsttönend wird.

Seit zehn Jahren mit einer Reihe von Untersuchungen physikalischer und akustischer Erscheinungen im Gebiete der Orgelbaukunst beschäftigt, hat diese Darstellung stets großen Zweifel an ihrer Richtigkeit in mir erregt. Es war mir undenkbar, daß ein ruhiger, im Druck stets gleichmäßiger Luftstrom dadurch, daß ein Theil desselben gegen die Oberlippe der Mundöffnung gebrochen wird, in eine stoßende Bewegung übergehen sollte. Beide Ströme, sowohl derjenige, welcher an der Mundöffnung vorbei eilt, wie auch der andere Strom, welcher in die Pfeife gelangt, müssen in der gleichmäßigen Bewegung verharren, weil sich keine Ursache auffinden läßt, welche diese Bewegung, an und für sich genommen, in eine *stoßende* umändern kann. Da diese Stöße die Luft-

säule in der Pfeife zum Schwingen *anregen sollen*, so müssen sie also vor der eintretenden Schwingung schon existiren. Wenn nun auch die Ursache ihrer Entstehung damit noch nicht nachgewiesen ist, indem man sagt: der Anblasestrom bricht sich am Labium der Pfeife, so müßte doch wenigstens diese ihre Existenz nachweisbar seyn. Die Annahme, daß diese Stöße anfangs unregelmäßig seyn können (die regelmässigen werden also nicht ausgeschlossen), erfordert ebenfalls eine Untersuchung, aus welcher Ursache die Regelmässigkeit oder die Unregelmässigkeit herzuleiten wäre. Im Falle der Regelmässigkeit der Stöße müßten sich dieselben mit jedem beliebigen Ton, den man z. B. auf einer Flöte anbläst, und den sie erregen sollen, vorher in ein gleiches Schwingungsverhältniß gesetzt haben! Nehmen wir auch einmal an, daß bei der Theilung des Anblasestromes am Oberlabium sich unregelmässige Stöße entwickelten, so würden diese am wenigsten im Stande seyn, die Luftsäule in Vibration zu bringen. Es würde sich nur ein Geräusch entwickeln, und im Inneren der Pfeife eine klanglose Luftströmung oder eine kräuselnde Bewegung der vom Strom abgerissenen Lufttheile entstehen.

Von diesen Erwägungen geleitet, habe ich mir viele Mühe gegeben die vermeintlichen Stöße wenigstens aufzufinden. Alsdann hätte sich auch ihre Entstehung nachweisen lassen. Für experimentirende Physiker möchte ich einen meiner Versuche zur Controle empfehlen.

Man bediene sich einer cylindrischen Pfeife von 2 Meter Länge und einem Durchmesser von 12 Centimeter, welche gut anspricht und deren Rohr sich 2 bis 3 Centimeter über der Anblaseöffnung (der Oberlippe) abnehmen läßt. Nachdem die Luftsäule schwingt, resp. die Pfeife tönt, hebt man das Rohr ab. Man wird in dem noch stehenden Körperstück nur noch ein Geräusch wahrnehmen, welches der Anblasestrom am Rande der Oberlippe verursacht. Untersucht man dieses Geräusch mittels einer Membrane, dann wird man auf derselben keine anderen

Ers
lich

Wir
cher
gan
die
wie
Men
anze
bers
bran
der
mein
bew
ter
bran
ges,
Stöf
gura
kling

lich
glau
der
den
folge

a
V
geste
dann
Inner
liege
Strei
ist d
bede

Erscheinungen wahrnehmen, als die, welche ein gewöhnlicher Luftstrom gegen die Membrane erzeugt.

Man stelle jetzt die Pfeife wieder her und sperre den Wind mittels eines unter dem Fulse der Pfeife befindlichen Schiebers ab. Oeffnet man den Schieber um ein ganz Geringes und allmählig mehr, bis der Anblasestrom die Oberlippe der Mundöffnung erreicht, dann wird man wieder nur ein Geräusch wahrnehmen, welches mit der Membrane untersucht, weder Stöße noch Schwingungen anzeigt. Bei langsam fortschreitendem Oeffnen des Schiebers werden sich Schwingungsbewegungen auf der Membrane zeigen, und bald darauf wird auch der Grundton der Pfeife dem Ohr vernehmbar. Dieß letztere beruht meines Erachtens darauf, daß unser Ohr die Schwingungsbewegungen von schwachen und tiefen Tönen etwas später empfindet. Daß die *ersten* Bewegungen auf der Membrane aber *Schwingungsbewegungen des entstandenen Klanges, und keine denselben vorbereitenden oder erregenden Stöße* des Anblasestromes sind, zeigt deutlich die Configuration auf der Membrane, weil sie bis zum vollen Erklingen des Tones dieselbe bleibt.

Ob sich durch ein anderes Verfahren die Stöße wirklich noch auffinden lassen, bezweifle ich sehr. Dagegen glaube ich, das Verhalten des Anblasestromes als *Erreger* der Schwingungen und seine *unbedingte Abhängigkeit von den Schwingungsgesetzen der jedesmaligen Luftsäule* nach folgender Darstellung richtig aufgefunden zu haben.

a) Schwingungs-Erregung des Grundtones bei offenen Pfeifen.

Wenn eine Pfeife intonirt, und der Anblasestrom so gestellt ist, daß er das Oberlabium der Pfeife streift, dann reißt dieser Strom fortwährend Lufttheile aus dem Innern der Pfeife mit sich fort, und zwar die ihm zunächst liegenden. Obgleich ein kleiner Theil des Stromes beim Streifen an das Labium in die Pfeife hineingelangt, so ist das Quantum Luft, welches der Strom herausreißt, bedeutend größer. Es entsteht in Folge dessen zunächst

in der unteren Luftschicht der Pfeife eine Verdünnung. Die äußere Luft hat zwar das Bestreben, diese Verdünnung auszugleichen, aber sie kann weder an der oberen, noch an der unteren Oeffnung der Pfeife sofort dazu gelangen. Die in der Pfeife ruhende Luftsäule giebt dem äußeren atmosphärischen Druck erst dann nach, wenn die Verdünnung so weit fortgeschritten ist, daß sie die Mitte des Pfeifenrohres (wo sich der Schwingungsknoten bildet) erreicht hat. An der unteren Oeffnung der Pfeife hindert der Anblasestrom, welcher diese Oeffnung gleichsam verschließt, ebenfalls die sofortige Ausgleichung.

In dem Augenblick nun, in welchem die Verdünnung in dem unteren Theile der Pfeife einen so hohen Grad erreicht hat, daß der Druck der äußeren Luft den Anblasestrom nach *einwärts* zu drücken vermag, *schneidet sich am Oberlabium eine Luftwelle von dem Anblasestrom ab*, welche die vorhandene Verdünnung aufhebt, und eine momentane kleine Verdichtung zur Folge hat. Dieser Rückschlag pflanzt sich der Länge des Rohrs nach fort und stößt in der *Mitte* desselben mit dem Druck zusammen, welchen die äußere Luft gleichzeitig auf die obere Oeffnung der Pfeife resp. auf die Luftsäule ausgeübt hat. Es hat sich also in der Mitte des Rohrs die starke Verdichtung gebildet, welche wir den Wellenberg, oder die akustische Welle nennen wollen. Ich sage mit Absicht „akustische Welle“, denn, nachdem bisher die *mechanische* Erregung allein thätig war, tritt von jetzt an das der Luftsäule eigenthümliche Schwingungsgesetz und die *Schallwirkung* mit ein.

Es ist einleuchtend, daß in dem Augenblick, in welchem sich eine Luftwelle von dem Anblasestrom abgeschnitten und die Verdünnung in dem unteren Theile der Pfeife aufgehoben hat, der Anblasestrom in seine vorige Lage resp. Richtung zurückkehrt. Hiermit beginnt aber auch wieder das Evacuiren. Es tritt also wieder eine Verdünnung ein; der Anblasestrom wird abermals einwärts gedrückt und mit dieser dann wieder eintretenden

Verdie
Schwi

Es
die v
durch
auf di
selben
in ein

Ma

lich e
die in

kürzer

ziehe

auf d

nach

an d

zurück

schlag

einand

von d

Spiral

strom

Abrei

die ä

und d

wieder

vorige

dünnu

Di

Stöße

begeg

Oberl

cität

Luft

Luftsä

Se

Hälfte

Verdichtung fällt die Rückkehr der akustischen Welle des Schwingungsknotens zusammen.

Es muß vor Allem darauf hingewiesen werden, daß die von dem Anblasestrom abgerissene Luftwelle nicht durch ihr Volumen, sondern mehr durch ihren Rückschlag auf die Verdünnung, resp. durch die Unterbrechung derselben wirkt. Ich will versuchen, für Nichtphysiker dieses in einem Bilde zu veranschaulichen.

Man stelle sich die Luftsäule der Pfeife als eine ziemlich enge, aber nicht dicht gewundene Spiralfeder vor, die in der Mitte der Pfeife befestigt und um ein Drittheil kürzer als die Hälfte der unteren Pfeifenlänge ist. Man ziehe das freie Ende der Spiralfeder an einem Faden bis auf den Boden der Pfeife herunter und nehme an, daß nach dieser Spannung der Faden reißt, sobald die Feder an dem Boden der Pfeife angelangt ist. Die Feder wird zurückschnellen und ihre Ringe werden gegen einander schlagen. Denken wir uns dieses in mehrmaliger Aufeinanderfolge, so haben wir ein annähernd richtiges Bild von der Schwingungserregung. Das Herunterziehen der Spirale stellt die Verdünnung vor, welche der Anblasestrom auf die untere Luftsäule der Pfeife ausübt; das Abreißen des Fadens stellt den Moment dar, in welchem die äußere Luft den Anblasestrom nach Innen drückt, und die am Labium abgerissene Luftwelle die Verdünnung wieder aufhebt. Der Anblasestrom tritt hierauf in seine vorige Richtung zurück und beginnt wieder mit der Verdünnung der Luftsäule u. s. w.

Die bisher gedachten und hypothetisch angenommenen Stöße lösen sich also in eine pendelartige *Hin- und Herbewegung* des Anblasestromes auf, welche am Rande des Oberlabiums die weiteste Amplitude hat, *von der Elastizität der Luftsäule der Pfeife und dem Druck der äußeren Luft abhängig*, und somit den *Schwingungsgesetzen der Luftsäule unterworfen ist*.

Sehen wir nun, was sich gleichzeitig in der oberen Hälfte des Pfeifenkörpers begiebt, nachdem die erste Ver-

dichtung (die akustische Welle) sich in dem Schwingungsknoten gebildet hat.

Es ist bekannt, daß die akustischen Schallwellen keine Verschiebung der Lufttheilchen bewirken. Indem nun die erste Verdichtung sich als Schallwelle in der Mitte der Pfeife gebildet hat, schwingt sie nach beiden Oeffnungen der Pfeife zurück und theilt ihre Schwingungsbewegung der äußeren Luft mit. Die Schallwelle, welche zur oberen Oeffnung hinschwingt und dort den zweiten Wellenberg bildet, theilt sich von dort aus der äußeren Luft mit, und zwar ohne Hindernisse. Die Schallwelle, welche an dem unteren Ende der Pfeife ihren Wellenberg bildet, findet dort eine $1\frac{1}{2}$ mal kleinere Oeffnung (die Aufschnittsfläche) und wird auch durch den Anblasestrom in ihrer Intensität abgeschwächt. Eine offene Pfeife, welche cylindrisch ist, sendet daher von der oberen Oeffnung stärker klingende Schallwellen aus, als von der unteren Oeffnung.

Während dieses Schwingens der Luftsäule muß die äußere *atmosphärische Luft* fortwährend durch die obere Oeffnung in die Pfeife *eindringen*, weil der Anblasestrom den unteren Theil der Pfeife fortwährend evacuirt. Es kann hierin nur eine Unterbrechung in dem Augenblick stattfinden, in welchem der Anblasestrom nach Innen gedrückt wird und eine Luftwelle abgibt, welche der Schwingung der Luftsäule einen neuen Impuls ertheilt. Dieses *Hereinströmen* der Luft ist den Schwingungen eben so wenig hinderlich, wie der Luftstrom, welcher eine Trompete, Clarinette u. s. w. in entgegengesetzter Richtung durchzieht.

Das fortwährende Eindringen der äußeren Luft in eine offene Pfeife ist auch sichtbar leicht darzustellen. Man bedient sich hierzu eines Gummibeutels, dessen innere Luft mit feinem Mehlstaub oder Harzrauch stark gefärbt ist, und einer *gläsernen* Pfeife. Bevor man die Pfeife erklingen läßt, drückt man einige Kubikzoll Luft aus dem Beutel in den oberen Theil der Pfeife. Beim

Anspr
in ruh
Unter
die Fo
theileh
eben
siren
gungsl
näher
Anbla
heraus
den E
ist nu
Stelle
der d
hängt
der M
Der I
Dureh
Stärk
30 S
oder
Lufts
D
Grun
gleich
daß
Aufs
nur
die a
säule
Ist d
gega
ständ
man
mes
oder

Ansprechen der Pfeife bewegt sich die gefärbte Luftmasse in ruhigem Strome abwärts nach der Anblaseöffnung hin. Unterbricht man die Ansprache, dann hört auch sofort die Fortbewegung der Luft auf. Die Staub- oder Rauchtheilchen werden durch die Schwingungen der Luftsäule eben so wenig verschoben wie die Lufttheile. Sie passieren den Schwingungsknoten so ruhig wie die Schwingungsbäuche. Sobald sie sich aber der Anblaseöffnung nähern, werden sie von der mechanischen Bewegung des Anblasestromes ergriffen und in schnellen Wirbelwindungen heraus geschleudert. Eine zitternde Bewegung, welche den Ein- und Ausbiegungen des Anblasestromes entspricht, ist nur bei 16füßigen weit mensurirten Pfeifen an dieser Stelle sichtbar wahrzunehmen. Die Geschwindigkeit, mit der die gefärbte Luft sich durch die Pfeife fortbewegt, hängt ab von der Stärke des Anblasestromes, der Größe der Mundöffnung und dem kubischen Inhalt der Pfeife. Der Luftinhalt einer Pfeife von 8 Fuß Länge und 5 Zoll Durchmesser, bei welcher die Aufschnittsöffnung und die Stärke des Anblasestromes normal sind, erneuert sich in 30 Secunden. Eine zu dichte Anhäufung der Staub- oder Rauchtheilchen beeinträchtigt die Schwingungen der Luftsäule.

Die Thatsache, daß eine eng mensurirte Pfeife ihren Grundton nicht so rasch angiebt, wie eine Pfeife von gleicher Länge mit größerem Durchmesser, beruht darauf, daß bei einer engen Pfeife der Anblasestrom mehr nach Außen dirigirt ist, und daß derselbe das Oberlabium nur schwach streifen darf. Es verzögert sich hierdurch die anfängliche Verdünnung des unteren Theiles der Luftsäule und hiermit auch das Eintreten der ersten Luftwelle. Ist die Luftsäule aber in eine stehende Schwingung übergegangen, dann genügt die Richtung des Stromes vollständig, um sie in der Schwingung zu erhalten. Neigt man bei einer engen Pfeife die Richtung des Stromes einwärts, dann wird statt des Grundtones der erste oder zweite Aliquot-Ton erscheinen. Die Evacuierung

findet zu schnell statt, und weil in einer engen Röhre die Lufttheilchen nicht so rasch folgen können, so drückt die äußere Luft den Strom früher ein, und es bildet sich schon auf dem vierten resp. sechsten Theil der Rohrlänge ein Schwingungsknoten, welcher die ganze Luftsäule in die gleiche stehende Schwingung versetzt.

Dasselbe gilt von dem zu starken Anblasen aller offenen Pfeifen.

b) Andere Formen der Erregung.

In Vorstehendem habe ich gezeigt, wie der Anblasestrom auf die Luftsäule wirkt, wenn er zum größten Theile vor der Anblaseöffnung herstreicht, und daß in diesem Falle fortwährend atmosphärische Luft in die obere Oeffnung der Pfeife eindringt.

Es kann der Anblasestrom die Luftsäule auch in Schwingung versetzen, wenn er mehr nach dem *Innern* der Pfeife gerichtet wird, und zwar so, daß ein Theil desselben sich von unten nach oben durch die Pfeife bewegt, wodurch sich also die Luftsäule aus dem Anblasestrom erneuert. Es eignen sich hierzu nur mittel und weit mensurirte Pfeifen und der Hergang ist hierbei folgender:

Der Widerstand, welchen die Luftsäule der Pfeife dem Anblasestrom entgegensetzt, ist derselbe, nur mit dem Unterschiede, daß statt der Verdünnung jetzt eine *Verdichtung* in dem unteren Theile der Pfeife entsteht. Der Strom wird in diesem Verdichtungsmoment nach Außen gedrückt, und es schneidet sich jetzt eine Luftwelle nach *Außen* am Labium ab. Der Druck der atmosphärischen Luft auf die Mundöffnung der Pfeife, so wie die geringere Dichtigkeit, welche hierdurch in der unteren Hälfte der Pfeife entstanden ist, bringen den Anblasestrom wieder in seine vorige Lage. Beim Abschneiden der Luftwelle dehnt sich die erste Verdichtung aus der Mitte nach beiden Oeffnungen der Pfeife aus und die vom Boden der Pfeife

rückk
blasen
Bl
Luft
Erklin
Höhe
den S
E
die V
Lufts
gung
Luft
gulin
Z
blase
welch
einer
ein,
sich
noch
beide
lerer
habe
blase
Luft
dadu
Lab
scha
ausg
stro
und
?
blas
der
dier
4 F

rückkehrende Welle fällt mit dem vollen Druck des Anblasestromes wieder zusammen.

Bringt man in eine Glaspfeife solcher Art die getärbte Luft bis in die Mitte der Pfeife, dann sieht man beim Erklängen derselben die Rauchtheilchen so rasch in die Höhe steigen, wie die Erneuerung der Luftsäule durch den Strom vor sich geht.

Es folgt also auch aus dieser Erscheinung wieder, daß die Verdünnungen und Verdichtungen einer eingeschlossenen Luftsäule (welche sie nach den Gesetzen ihrer Schwingungsfähigkeit erleidet) unter Mitwirkung der äußeren Luft dem *Anblasestrom seine Thätigkeit anweisen und reguliren*.

Zwischen diesen beiden äußersten Richtungen des Anblasestromes sind noch viele andere Richtungen möglich, welche die Luftsäule zur Schwingung anregen. Nur bei einer Stellung des Stromes tritt *keine* Ansprache der Pfeife ein, und dieses findet statt, wenn der Strom am Labium sich so theilt, daß in der Pfeife weder eine Verdichtung noch eine Verdünnung der Luftsäule stattfinden kann, und beide Theilstrome sich paralysiren. Bei Pfeifen von mittlerer Länge und höher hinauf, welche eine mittlere Mensur haben, ist die Ansprache am günstigsten, wenn der Anblasestrom eine solche Richtung erhält, daß *gar keine* *Lufterneuerung* in der Pfeife stattfindet. Dieser ist nur dadurch möglich, daß der stärkere Theilstrom vor dem Labium herstreicht und eine Verdünnung in der Pfeife schafft, die durch die abreißende Luftwelle im *Volumen* ausgeglichen wird. Man hat diese Richtung des Anblasestromes gefunden, wenn die gefärbte Luft in dem oberen und mittleren Theile der Glasröhre ruhig stehen bleibt.

Zur Unterstützung dieser Bewegungs-Gesetze des Ausblasestromes in Verbindung mit der schwingenden Luftsäule der Pfeife mag noch Folgendes aus der Erfahrungslehre dienen.

Bei sehr engmensurirten Pfeifen von einer Länge von 4 Fuß bis 16 Fuß ist die prompte Ansprache des Grund-

tones äußerst schwierig herzustellen. Die geringste Veränderung der Luftdichte im Gebläse, das raschere oder langsamere Oeffnen des Ventils, welches den Wind in die Pfeife einströmen läßt, oder eine kaum wahrnehmbare Luftbewegung, Wärmestrahlung u. dergl. werden die Ursache, daß die Pfeife bald gut anspricht, bald in den nächsten Oberton übergeht oder ganz schweigt und dann wieder eine Zeit lang zwar im Grundton, aber sehr verspätet anspricht. Diese Vorkommnisse beruhen auf der Empfindlichkeit des Anblasestromes und auf der erschwerten Schwingung einer langen und engen Luftsäule. Die Empfindlichkeit des Anblasestromes ist hierbei überwiegend. Giebt man diesem Strom an beiden Seiten der Mundöffnung eine Begränzung durch Anlöthen sogenannter Seitenbärte, dann wird die Ansprache schon zuverlässiger. Bringt man aber einen Metallstreifen, welcher eine Breite hat, die der Höhe des Aufsnittes gleich ist, in einiger Entfernung quer vor die Anblaseöffnung, dann spricht der Ton so prompt und zuverlässig an, wie der einer weit mensurirten Pfeife. Die Ursache hiervon liegt unzweifelhaft darin, daß die Oscillationen des Stromes, welche gegen die Fläche des Metallstreifens reflectiren, nicht mehr den Schwankungen ausgesetzt sind, welche die freie Luft vorher ermöglichte.

c. Zungenpfeifen (aufschlagende).

Chladni zählte schon mit Recht die Zungenpfeifen zu den offenen, obgleich man die Oeffnung, wo die Luft hineingeblasen wird, äußerlich als eine verschlossene ansehen könnte. Die Schwingungs-Erregung in diesen Pfeifen ist sehr einfach, und deshalb ist bei denselben von den sogenannten „Stößen“ auch nie die Rede gewesen. An dem unteren spitzen Ende des Pfeifenkörpers ist bekanntlich das Mundstück mit der Zunge in einem Knopf befestigt und mit einer Stimm-Krücke versehen. Dieses Mundstück ist bis an den Knopf mit einer kurzen Röhre umschlossen,

in welche an dem unteren offenen Ende die verdichtete Luft aus dem Gebläse eintritt. Beim Anblasen der Pfeife wird das untere freie Ende der Zunge, welche mit einer Biegung nach Außen die Oeffnung des Mundstückes etwas freiläßt, von dem Luftstrom gegen das Mundstück gedrückt. Die elastische Zunge giebt dem Druck bei diesem ersten Niedergange nicht so weit nach, daß die Oeffnung des Mundstückes ganz bedeckt wird. Die Zunge schwingt zurück, und erst nach diesem zweiten Gange wird die Amplitude so groß, daß sie beim Niederschlagen die Oeffnung des Mundstückes ganz verschließt und dann wieder zurückschnellt. Es werden also hierdurch ähnlich wie bei der Sirene, von dem continuirlich wirkenden Strom Luftwellen abgeschnitten, und zwar pro Secunde so viele, als die Zunge vermöge ihrer Länge und Dicke Schwingungen zu machen, geeignet ist.

Bei freischwingenden Zungen, welche in der Oeffnung einer Platte schwingen, wird sowohl beim Hingange, wie auch beim Hergange eine Luftwelle abgeschnitten, weil sie bei jedem Gange die Oeffnung passiren und momentan verschließen. Es muß also eine aufschlagende Zunge bei der gleichen Anzahl von Luftwellen pro Secunde die doppelte Zahl der Vibrationen machen.

Diese mittels Schwingung der Zunge formirten Luft- oder Schallwellen gelangen aus dem Mundstück in das Schallrohr und theilen ihre Schwingungen der darin stehenden Luftsäule mit. Die Verstärkung, welche sie hierdurch erhalten, ist abhängig von der passenden Divergenz des Schallrohres.

So einfach wie bei diesen so wie bei den freischwingenden Zungenstimmen die Bildung der Schallwellen auch ist, so complicirt gestaltet sich bei denselben die Mitwirkung der Luftsäule in der Schallröhre und des die Zunge umgebenden abgeschlossenen Raumes. Ich übergehe dieses, weil es in die gegenwärtige Besprechung nicht hineingehört.

d. Gedeckte und halbgedeckte Pfeifen.

Die Schwingungs-Erregung bei gedeckten Pfeifen ist analog der Erregung bei den offenen, jedoch mit dem Unterschiede, daß der Anblasestrom zumeist nur *verdünnend* auf die innere Luftsäule wirkt. Wendet man die figürliche Bewegung der Spiralfeder hier wieder an, dann muß man sich den festen Punkt der Feder an dem oberen geschlossenen Ende der Pfeife denken. Im Uebrigen bleibt das Bild dasselbe, denn, sobald die Verdünnung einen so hohen Grad erreicht hat, daß die äußere Luft auf den Anblasestrom wirkt, schneidet sich eine Luftwelle nach innen ab, und somit ist die erste Schwingung der Luftsäule eingeleitet. Die von dem oberen geschlossenen Ende zurückkommende Verdichtungswelle fällt mit der zweiten abgeschnittenen Luftwelle zusammen, nachdem die Verdünnung ihr vorhergegangen ist.

Die Schallwellen dieser Schwingungen können sich der äußeren Luft nur durch den Anblasestrom mittheilen. Ihre Intensität wird durch denselben abgeschwächt. Will man den Ton einer gedeckten Pfeife auf dieselbe Entfernung hörbar machen, wie den gleichnamigen Ton einer offenen Pfeife, dann muß der Anblasestrom verstärkt und der Aufschnitt resp. die Mundöffnung erweitert werden.

Die Signalpfeife unserer Locomotive ist eine gedeckte Pfeife. Da die Aufschnittsöffnung rings um den Pfeifenkörper geführt ist, und der Anblasestrom in entsprechender Kraft vorhanden ist, so läßt sich mit dieser Pfeife ein gellender und sehr intensiver Klang erreichen.

Unter *halbgedeckten* Pfeifen versteht man solche, die an dem oberen geschlossenen Ende eine kleine Oeffnung haben. Bei diesen Pfeifen tritt die Schwingungs-Amplitude je nach der Größe der Oeffnung von dem geschlossenen Ende zurück. Sie wird also kürzer und der Ton höher. Mit diesen Oeffnungen, welche den Klang selbstverständlich auch heller machen, läßt sich nur in der zwei- und dreigestrichenen Octave der achtfüßigen Tonlage operiren. In den größeren Pfeifen richtet die Oeffnung,

glei
fach
die
mes
kürz
Ers
hall
ton
nun
Ver
Sch
gro
Der
und
che
abs

Sch
bla
offe
nac
ten
Pfe
Ber

Er
Lu
mü
un
die
alle
un
zu
che
der

gleichviel ob größer oder kleiner, eine Störung der einfachen Schwingung an. Setzt man aber ein Röhrchen in die Oeffnung, welches auch nur die Länge des Durchmessers der Pfeife hat, dann ist die allerdings etwas verkürzte Schwingung wieder möglich. Der Grund dieser Erscheinung ist leicht zu erkennen. Da die gedeckten und halbgedeckten Pfeifen in der ersten Schwingung (Grundton) keinen Schwingungsknoten haben, so muß eine Oeffnung am oberen Ende der Pfeife der Verdichtung und der Verdünnung der Luftsäule nachtheilig seyn und ihre erste Schwingung unmöglich machen, wenn die Oeffnung so groß ist, daß die Ausgleichung sofort stattfinden kann. Der Reibungswiderstand im Röhrchen verhindert dieses, und selbstverständlich um so mehr, je länger das Röhrchen genommen wird; aber es geht hiermit auch der beabsichtigte Zweck: die Klangfarbe zu ändern — verloren.

In gedeckten und halbgedeckten Pfeifen kann die Schwingungs-Erregung auch stattfinden, wenn der Anblasestrom in die Pfeife geleitet wird und (wie bei den offenen Pfeifen schon bemerkt wurde) die Luftwelle sich nach Außen abschneidet. Ueberhaupt ist bei gedeckten Pfeifen, sobald sie die doppelte Weite des offenen Pfeifenrohres haben, die Ansprache des Grundtones in Bezug auf die Richtung des Anblasestromes nicht schwierig.

e. Weitere Bemerkungen und practische Nachweise.

Da gegenwärtige Abhandlung nur den Zweck hat, die Erregung des Grundtones als erste Schwingungsart einer Luftsäule darzustellen, so habe ich alles das umgehen müssen, was in das Gebiet der Obertöne, der Doppeltöne und der weiteren akustischen Erscheinungen gehört. Was die Schwingungs-Erregung anbetrifft, so bleibt diese in allen Formen der Theilbarkeit der Schwingungen dieselbe, und es tritt bei den Labialpfeifen nur der Wechsel in Bezug auf die Verdichtungen und Verdünnungen ein, welcher durch verstärktes Anblasen, oder durch eine veränderte Richtung des Anblasestromes hervorgerufen wird.

Es erübrigt nur, noch weitere Beweise für die Richtigkeit meiner aufgestellten Sätze hier mitzutheilen.

Das Experiment mit gefärbter Luft ist beweisend 1) für das *Einströmen* der atmosphärischen Luft in das obere Ende einer offenen Pfeife, wenn der Anblasestrom vor dem Labium herstreicht und die Verdünnung durch das Abgeben einer Luftwelle nach Innen nur momentan unterbricht; 2) für das *Ausströmen* von Luft aus dem oberen Ende der Pfeife, wenn der Anblasestrom stark nach dem Inneren der Pfeife gerichtet wird, und die entstehende Verdichtung durch das Abgeben einer Luftwelle nach Außen momentan unterbrochen wird; 3) für das relative *Stillstehen* der Luftsäule, wenn der Anblasestrom um so viel wieder nach Außen dirigirt wird, daß die abgerissene Luftwelle die vorhergegangene Verdünnung auch im *Volumen* aufhebt; 4) daß bei der akustischen Schwingung der Luftsäule ihre Lufttheile sich nicht verschieben und nur in der Nähe des Anblasestromes an dessen mechanischer Bewegung theilnehmen.

Bei der Ansprache *gedeckter* Pfeifen kann der Anblasestrom dieselben drei Richtungen haben, und es muß die Beschaffenheit der schwingenden Luftsäule bezüglich ihrer Dichte der jedesmaligen Richtung entsprechen. Der demonstrative Beweis hierfür ist am leichtesten mit einer *manometrischen* Vorrichtung zu liefern. Um die Beobachtung recht auffallend zu machen, fülle man die Glasröhren des Manometers mit Weingeist an, und neige dieselben aus der Verticalstellung in einem Winkel von 30° bis 25° herunter. Bei der vorhin erwähnten ersten Richtung des Anblasestromes wird die Flüssigkeitssäule beim Ansprechen der Pfeife um 4 bis 5^{mm} zurückgehen und in dieser Lage so lange verbleiben als die Pfeife tönt.

Die Verdünnung der Luftsäule ist hierdurch also constatirt.

Bei der zweiten Richtung des Stromes wird die Säule in demselben Maasse steigen und in ihrer Lage ebenfalls

so lange verharren als das Tönen der Pfeife dauert, und hiermit ist die Verdichtung bewiesen.

Bei der dritten Richtung des Stromes wird die Flüssigkeitssäule stehen bleiben, also weder eine Verdichtung noch eine Verdünnung anzeigen.

Ich bediente mich zu diesem Versuche einer gedeckten Pfeife von 70 Centimeter Länge und 10 Centimeter Querschnitt. Der Druck im Gebläse war der bei der Orgel gebräuchliche = 9 Kilo auf den Quadrat-Fuß der Oberplatte = 35° der Orgelbauer-Windwaage.

Bei diesem Experiment, sowohl mit der gefärbten Luft in offenen Pfeifen, wie bei Anwendung des Manometers bei gedeckten Pfeifen, erscheint die Bewegung der Ersteren oder auch die Ruhe derselben, und ebenso der Rand der Flüssigkeitssäule ohne Vibration. Es ist aber anzunehmen, daß die Luftsäule der Pfeife nicht so ruhig fortschreitet, wie es der Rauch für das Auge erkennen läßt, sondern daß sie sowohl in der Bewegung wie im Stillstande dieselbe Anzahl von Vibrationen zeigt; hat man aber günstig formirte Rauchwölkchen in der Glaspfeife stehen, welche mit einem scharfen Lichtstrahl beleuchtet sind, dann müßte sich das Phasenverhältniß in einem rotirenden Spiegel wahrnehmen lassen.

Eine interessante, wenn auch nicht zulängliche Erscheinung bietet sich dem Auge dar, wenn man ein dünnes Stückchen Wachslicht anzündet und dasselbe an einem Draht in eine offene Glaspfeife einsenkt. Der Anblasestrom muß hierbei aber so gerichtet seyn, daß die Luftsäule der Pfeife sich aufwärts bewegt. Im anderen Falle drückt die von Oben eindringende atmosphärische Luft auf die Flamme so stark, daß sie schwalgt, sich um den Rand der Kerze legt und in der Mitte des oberen Schwingungsbauches schon erstickt. Bei der stehenden oder aufwärts gehenden Luftsäule brennt die Flamme so ruhig wie außerhalb der Pfeife, sobald sie sich in einem der Schwingungsbauche befindet. Am oberen Ende der Pfeife,

so wie in dem Schwingungsknoten der Mitte der Pfeifenlänge tritt die obere Flammenhälfte in eine Menge getheilter Flammenringe über, die sich in progressiven Abständen befinden (Fig. 16, Taf. III). Nach verstärktem Luftdruck, wenn der Ton in die zweite Schwingungsart (die Octave) übergeht, verdoppelt sich auch die Anzahl der Ringe; aber was mir hierbei unerklärlich bleibt, ist, daß die Flamme in dem zweiten Schwingungsknoten, welcher sich bei der Octave bildet und auf dem vierten Theil vom Ende der Röhre liegt, ganz ruhig bleibt, und nur in der halben Länge und am oberen Ende der Pfeife mitschwingt. Ebenso ergeht es bei dem zweiten Oberton, welcher seinen Schwingungsknoten auf dem sechsten Theil der Pfeifenlänge hat. Die Flamme bleibt auch dort ruhig, schwingt aber am oberen freien Ende der Pfeife und am dritten Theil derselben. Die Wärme, welche von der Flamme ausstrahlt, kann diese Erscheinung wohl nicht hervorrufen, dagegen ist ihr die Ursache von einer anderen interessanten Erscheinung zuzuschreiben und zwar von folgender.

Wenn beim Erklären des zweiten Obertones die Flamme bis auf die halbe Pfeifenlänge hinunter gesenkt wird, dann erscheint wieder der Grundton und zwar so kräftig, wie er bei der ungünstigen Stellung des Anblasestromes und des verstärkten Luftdrucks ohne die Flamme nicht zu erzeugen ist. Es dauert dieser Grundton aber nur einige Secunden an, indem er in die Octave übergeht. Der zweite Oberton ist erst dann wieder hervorzurufen, wenn man die Flamme herausnimmt und die Pfeife von Neuem ansprechen läßt. Man kann sich diesen Vorgang nur dadurch erklären, daß der zweite Oberton drei Schwingungsknoten hat, nämlich zwei an dem sechsten Theil von jedem Ende der offenen Röhre und den dritten in der halben Pfeifenlänge. Da der Letztere auch der Schwingungsknoten des Grundtones ist, so ist anzunehmen, daß die von der Flamme aufsteigende Wärme die obere Hälfte der Luftsäule so sehr verdünnt, daß

der
tere
hier
jetzt
wel
Hal
ton
Dic
Luf

stro
pra
sue

sue
voll
Kör
hina
von
meh

Ger
Luf
glei
hab
von
Res
kan
wer
und
und
Ken
mit
labi
Höl
von
lang
3^{mm}

Po

der obere Schwingungsknoten sich auflöst. Der am unteren Ende der Pfeife befindliche Schwingungsknoten wird hierdurch auch unterbrochen. Der Grundton entsteht jetzt durch die ganze Schwingung der unteren Luftsäule, welche nicht erwärmt und also dichter ist und die obere Hälfte in gleiche Schwingung versetzt. Daß dieser Grundton bald in die Octave übergeht, ist bei der ungleichen Dichte beider Lufthälften und der eben so ungleichen Luftströmung zu erwarten.

Nachdem das Verhalten der Luftsäule zum Anblasestrom wohl genügend dargestellt ist, will ich noch einige praktische Versuche mittheilen, welche sich mit der Untersuchung des Anblasestromes beschäftigen.

Die im Eingang dieser Abhandlung erwähnten Versuche mittels der Membrane könnten in so fern als unvollkommen betrachtet werden, als alle vibrationsfähige Körper, welche in einem über den Moment der Erregung hinausdauernden Schwingungszustand verbleiben können, von dem *Mittel* der Erregung nicht abhängig sind. Eine mehr empfindliche Membrane würde schon durch das Geräusch des Luftstroms und durch seine mechanische Luftbewegung in Vibration gelangen können u. s. w. Obgleich ich die erhaltenen Resultate für genügend erachte, habe ich den Anblasestrom auch noch mittels Anwendung von Lamellen untersucht, und dabei noch zutreffendere Resultate erhalten. Das Verfahren ist sehr einfach und kann an jeder beliebigen Orgelpfeife leicht vorgenommen werden. Ich benutze zu diesem Zweck eine Metallpfeife, und zwar das 8 füs. C des Principal-Registers. Das Ober- und Unterlabium standen senkrecht aufeinander und der Kern war so hoch gestellt, daß der Anblasestrom nur mit dem achten Theil seiner oberen Stromdicke das Oberlabium streifte, mithin sieben Achtel ins Freie fielen. Die Höhe des Aufschnittes betrug 25^{mm}. Die Lamellen waren von Messing und sehr dünn ausgewalzt. Jede war 30^{mm} lang, an einem Ende 6^{mm} breit und an dem anderen auf 3^{mm} auslaufend zugeschnitten. Es wurde nun eine La-

melle mittels Klebwachs mit dem schmalen Ende auf die Fläche des Oberlabiums geklebt, und zwar so, daß das untere breite Ende bis nahe an die Kernspalte reichte Fig. 17, *a*, Taf. III. Die zweite Lamelle wurde innerhalb der Kernspalte an der inneren Seite des Unterlabiums ebenfalls mit dem schmalen Ende so befestigt, daß das obere breite Ende das Oberlabium nahezu berührte, also noch frei sich bewegen konnte Fig. 17, *b*, Taf. III. Die dritte Lamelle wurde mit dem breiten Ende 5^{mm} weit eingeklemmt und mit einem Stativ so nahe an den Anblasestrom gerückt, daß sie sich durch den Strom in Bewegung setzen konnte Fig. 17, *c*, Taf. III. Die Pfeife hatte über dem Labium eine große Oeffnung, welche durch einen Pfropfen geschlossen war und zu dem Zweck geöffnet werden konnte, um die Schwingung der Luftsäule zu unterbrechen Fig. 17, *d*, Taf. III. Denken wir uns dieses Alles nun vorhanden und die Oeffnungen der Pfeife geschlossen, dann ist die Erscheinung folgende:

Sobald man etwas Luft in den Pfeifenfuß einströmen läßt und sich der Anblasestrom formirt, wird die Lamelle *c* ins Schwingen gerathen, obgleich noch keine Klangentwicklung stattfindet. Diese durch den Strom verursachte, rein mechanische Bewegung bleibt auch beim Wegnehmen des Pfropfens *d* dieselbe und ist sehr unregelmäßig. Bei etwas vermehrtem Luftzufluß schwingt die Lamelle *a* schwach, aber schon regelmäßiger, weil sie in der Dichte des Stromes steht. Schließt man jetzt die Oeffnung *d*, dann wird sich die Lamelle *b* in Schwingung setzen, denn der Grundton ist bereits hörbar. Mit dem Eintreten des Grundtones erweitert sich die Amplitude von *a*, ohne daß der Luftstrom verstärkt wird, und *a* macht gleich *b* die Zahl der akustischen Schwingungen sichtbar. Unterbricht man den Grundton durch Oeffnen der Pfeife bei *d*, dann tritt die Lamelle *b* wieder in Ruhe und *a* in die vorherige mechanische Bewegung zurück. Die Lamelle *c* verändert ihre Bewegung hierbei nur wenig.

Für das Verhalten des Anblasestromes beweist die Lamelle *b*, daß dieser Strom keine Stöße ausübt, sondern

durch
Luft
Schw
Stab
daß
blase
weil
und
weite
M
Stati
daß
läßt
Oeff
kling
Anze
tude
ohne
M
dem
dann
bung
diese
der
Die
dara
blase
nach
akus
könn
daß
dem

durch die wechselnde Verdichtung und Verdünnung der Luftsäule (welche er allerdings hervorruft) die einfachen Schwingungen eines an seinem unteren Ende eingeklemmten Stabes macht. Die Bewegung der Lamelle *a* beweist, daß die akustischen Schallwellen der Luftsäule den Anblasestrom durch die ganze Aufschnitts-Oeffnung passiren, weil ihre Schwingungs-Amplitude der oberen *b* gleich ist, und das sechsfache der unteren Stromdicke beträgt. Eine weitere interessante Beobachtung ist folgende:

Man läßt die Pfeife voll ansprechen und rückt das Stativ mit der Lamelle *c* so weit vom Anblasestrom zurück, daß derselbe die Lamelle möglichst regelmäßig vibriren läßt. Macht man nun in der Mitte der Pfeifenlänge eine Oeffnung, so daß statt des Grundtones die Octave erklingt, dann werden die Lamellen *a* und *b* die doppelte Anzahl von Schwingungen machen und in ihren Amplituden auf ein Viertel der früheren Weite zurückgehen, ohne daß die Lamelle *c* hiervon berührt wird. Ferner:

Man stelle den Grundton wieder her und halte zu demselben den nächsten halben Ton *C** an. Es werden dann pro Sekunde circa *drei* starke Stöße oder Schwebungen entstehen. Die Lamellen *a* und *b* reagiren auf diese Stöße, indem sie im Moment des Zusammentreffens der Schwingungen ihre Amplitude beträchtlich vergrößern. Die Lamelle *c* reagirt auf diese Stöße nicht; nur ist darauf zu achten, daß sie rechtwinklig gegen den Anblasestrom gerichtet bleibe. Bei einer schrägen Richtung nach oben würden die aus dem Strom heraustretenden akustischen Schallwellen auf ihre schräge Fläche wirken können. Auch ist bei dieser Untersuchung nothwendig, daß die Lamelle, wie die Figur zeigt, etwas mehr nach dem *unteren* Labium gerichtet wird.

VIII. *Bemerkung über die galvanische Ausdehnung; von E. Edlund.*

Vor mehreren Jahren beschrieb ich einige experimentelle Versuche, durch welche es bewiesen wurde, daß Metalldrähte, durch die ein galvanischer Strom fließt, mehr ausgedehnt werden, als es der durch den Strom hervorgerufenen Temperaturerhöhung entspricht¹⁾. Die ganze Verlängerung des Drahtes besteht nämlich aus zwei Theilen, von welchen der eine aus der Temperaturerhöhung, die der Draht erhalten hat, berechnet werden kann, und die andere von der Stärke des durchgegangenen Stromes direct abhängig ist und mit derselben schnell zunimmt. Diesen letztgenannten Theil der Ausdehnung habe ich die galvanische Ausdehnung genannt. Um die Existenz dieser Ausdehnung zu beweisen, wurden drei verschiedene Beobachtungsmethoden angewandt: 1) Man ließ einen Strom durch den Draht fließen und man maafs dabei die Verlängerung a und den galvanischen Leitungswiderstand b des Drahtes. Darauf wurde die Wärmeausdehnung desselben Drahtstückes und das Gesetz der Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur untersucht. Um diese letzte Untersuchung ausführen zu können, wurde der Draht über vier Glasstäbchen, die parallel mit einander in eine Holzscheibe eingesetzt waren, aufgewunden, so daß der Draht ein Quadrat mit abgerundeten Ecken bildete, und das ganze in ein Luftbad gebracht, welches zu verschiedenen Temperaturen erwärmt wurde. Hierbei war der Draht mit anderen Leitungsdrähten und mit einem Rheostat auf die Weise verbunden, daß der Widerstand bei verschiedenen Temperaturen mit Zuverlässigkeit bestimmt werden konnte. Nachdem man auf diese Weise die Wärmeausdehnung und die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur kennen gelernt hatte, war es

1) Pogg. Ann. Bd. 129, S. 15 und Bd. 131, S. 337.

leicht
da de
gemes
erhöht
sich i
größte
klärt
darin.
desser
halten
Draht
dersel
durch
Strom
wurde
nach
zeigte
größte
dersta
len d
in de
Draht
legt
wona
tes g
wegg
Venti
rend
wurd
so ab
groß
des
Fälle
perat
bede
werd
des
obgle

leicht zu berechnen, welche Temperatur der Draht besaß, da dessen Widerstand b war, und folglich auch, ob die gemessene Verlängerung a ausschließlich der Temperaturerhöhung zuzuschreiben war oder nicht. Hierbei stellte sich immer heraus, daß die Verlängerung des Drahtes größer war als daß sie aus der Temperaturerhöhung erklärt werden konnte. 2) Die zweite Methode bestand darin, daß der Draht in einem Luftbade erwärmt und dessen Länge und galvanischer Widerstand bei der erhaltenen Temperatur gemessen wurde. Ohne daß der Draht im Geringsten verrückt wurde, ließ ich, nachdem derselbe wieder abgekühlt war, einen galvanischen Strom durch denselben gehen, und vergrößerte allmählich die Stromstärke bis daß der Leitungswiderstand eben so groß wurde als da der Draht in das Luftbad eingesetzt war, wonach die Länge des Drahtes wieder gemessen wurde. Es zeigte sich immer hierbei, daß die Länge im letzten Falle größer als in dem frühern war, obgleich der Leitungswiderstand und folglich auch die Temperatur in beiden Fällen dieselbe war. 3) Bei der dritten Methode wurde in der Art verfahren, daß man einen Strom durch den Draht gehen ließ, während dieser in Eiderdaunen eingelegt und folglich der Abkühlung wenig ausgesetzt war, wonach die Länge und der Leitungswiderstand des Drahtes gemessen wurden. Darauf wurden die Eiderdaunen weggenommen und die Luft rings um den Draht mit einem Ventilator (einer Flügelwelle) in Bewegung gesetzt. Während also der Draht einer starken Abkühlung ausgesetzt war, wurde die Stärke des durch den Draht gehenden Stromes so abgepaßt, daß der Widerstand des Drahtes eben so groß wie in dem ersten Falle, wonach man die Länge des Drahtes wieder maas. Damit der Draht in beiden Fällen denselben Widerstand und folglich dieselbe Temperatur erhalte, mußte die Stromstärke im letzten Falle bedeutend größer als in dem ersten Falle genommen werden. Es zeigte sich immer hierbei, daß die Länge des Drahtes im letzten Falle größer als im ersten war, obgleich er in beiden die nämliche Temperatur hatte. Alle

drei Methoden geben also dasselbe Resultat, nämlich daß der Draht bei dem Durchgange des Stromes mehr ausgedehnt wird, als es der Wärmeausdehnung entspricht. Damit diese Beobachtungsmethoden ein zuverlässiges Resultat geben, wird erfordert, daß der Widerstand, so wie er in dem Ohm'schen Gesetze vorkommt¹⁾, nicht direct von der Stromstärke abhängig sey, daß heißt, daß der Widerstand, insofern die Temperatur unveränderlich gehalten wird, nicht mit der Stromstärke sich verändere. Mit anderen Worten, die angewandten Beobachtungsmethoden setzen voraus, daß das Ohm'sche Gesetz vollkommen richtig sey; dieses Gesetz ist aber so vielfach geprüft worden, daß irgend ein Zweifel an dessen Richtigkeit nicht obwalten kann.

Gegen die Richtigkeit der erhaltenen Resultate hat Hr. Wiedemann folgende Bemerkungen gemacht²⁾:

1) Wenn die vom Strom erwärmten Drähte von außen abgekühlt werden, und ihre mittlere Temperatur dieselbe ist, wie die eines durch seinen ganzen Querschnitt hindurch gleichmäßig erwärmten Drahtes, so braucht darum die Verlängerung in beiden Fällen noch nicht unbedingt dieselbe zu seyn. 2) Der indirecte Schluß von dem Leitungswiderstande der Drähte auf ihre mittlere Temperatur erscheint nicht ganz sicher, da z. B. schon beim Umwickeln der Drähte um die Glasstäbe des Apparates zur Widerstandsmessung ihr Widerstand ein anderer werden kann, als wenn sie gerade ausgespannt sind. Eine directere Temperaturbestimmung der Drähte wäre also wünschenswerth. 3) Beim Durchleiten des Stromes durch den Draht könnten auch sowohl in Folge der Erwärmung desselben wie der ihn haltenden und mit den Neusilberdrähten verbundenen Klemmen thermoelektromotorische Kräfte auftreten, die die Genauigkeit der Widerstandsbestimmung beeinträchtigen könnten. Nach Hervorhebung

1) Diesen Widerstand habe ich in meiner Abhandlung *Theorie des phénomènes électriques* den principalen Widerstand genannt.

2) Die Lehre vom Galvanismus 2. Aufl., Bd. 1, S. 731 (1873).

dieser Zweifel fügt Hr. Wiedemann hinzu: Gerade bei der großen Bedeutung des zu beweisenden Resultats und der großen Schwierigkeit der Beobachtungen erscheint eine Hervorhebung und Beseitigung aller zweifelhaften Punkte besonders nöthig.

Diese Bemerkungen des Hrn. Wiedemann haben dem Hrn. Dr. Streintz Veranlassung gegeben diese Frage noch ein Mal zu behandeln, und er hat dabei eine Methode, die von der meinigen ganz verschieden war, benutzt¹⁾. Hr. Streintz bestimmte mit Sorgfalt den Erstarrungs- und den Schmelzpunkt des Stearins. Der erstere betrug $53^{\circ},4$ und der letztere $55^{\circ},5$ C. Nachdem der zu untersuchende Draht stellenweise mit einer äußerst dünnen Schicht Stearin überzogen war, wurde ein galvanischer Strom durch den Draht geschickt, und die Stromstärke allmählich erhöht bis das Stearin zu schmelzen begann, wobei die Verlängerung des Drahtes gemessen wurde. Als diese Verlängerung mit derjenigen, die der Draht beim Erhitzen in einem Luftbade zu derselben Temperatur erhielt, verglichen wurde, zeigte sich, daß jene größer als diese war. Die Versuche des Hrn. Streintz bestätigen also vollständig das Resultat, wozu ich früher gekommen war. Der einzige Unterschied zwischen seinem Resultate und dem meinigen besteht darin, daß er die galvanische Ausdehnung im Allgemeinen größer als ich gefunden. Nur bei Drähten von hartem Stahl zeigte sich die galvanische Ausdehnung unmerklich. Drähte von diesem Material waren aber von mir nicht untersucht worden. Auf die absolute Größe der galvanischen Ausdehnung darf man jedoch wohl nicht so großes Gewicht legen, weil diese nach Hrn. Streintz' Versuchen sogar für Drähte von gleichem Materiale ganz verschieden ausfällt.

Hr. Wiedemann macht auch eine Bemerkung gegen die Zuverlässigkeit der Untersuchung des Hrn. Streintz. Nach seinem Erachten ist nämlich die erste der drei oben genannten Bemerkungen auch gegen diese Untersuchung

1) Die Lehre vom Galvanismus 2. Aufl., Bd. 2. Nachtrag 66.

gültig, und er giebt derselben einen bestimmteren Ausdruck indem er äußert: „Auch diese sehr sorgfältigen Versuche lassen immer noch einen Zweifel zu. Gerade bei dünnen Drähten ist die Oberfläche im Verhältniß zur Masse sehr bedeutend, also die Wärmeabgabe nach außen und die Temperaturabnahme von dem centralen Theil nach den peripherischen Theilen sehr hervortretend. Wenn aber die durch den Strom erhitzten Drähte hierdurch innen eine höhere Temperatur besitzen als außen, so erscheinen sie im Vergleich zur äußeren Temperatur zu lang. Vielleicht würden gerade Versuche mit dickeren Stäben sicherer zum Ziele führen“¹⁾. Wir werden nun die Baschaffenheit dieser Bemerkungen in näheren Betracht ziehen.

Was die erste Bemerkung betrifft, so ist es deutlich, daß der Temperaturunterschied zwischen Axe und dem Umkreise des Drahtes um so viel größer seyn muß als der Draht stärker erhitzt wird. Bei meiner ersten Untersuchung war dieses mit dem Platindraht in den Versuchen 4 a und b der Fall. Die Temperatur des Drahtes war hier 73° über die der umgebenden Luft hinaus, und die Ausdehnung desselben betrug 139,5 Scalentheile²⁾. Als der galvanische Strom geöffnet wurde, verkürzte sich der Draht, wie die mitgetheilten Beobachtungen zu erkennen gaben, um 2,4 Scalentheile in 0,36 einer Secunde, das heißt, er verminderte seine Temperatur um 1,256 Grad in derselben Zeit und also um 3°,49 in einer Secunde. Der Draht war 118,4 Ctm. lang und dessen Durchmesser 0,0542 Ctm. Wenn das specifische Gewicht des Platins zu 21 und dessen Räumlichkeit für Wärme zu 0,0524 genommen werden, und wenn man das Gramm zur Einheit für das Gewicht wählt, so findet man, daß der Draht bei dieser Temperatur 0,648 Wärmeeinheit in der Secunde verlor.

Durch eine Kupferwand, die 1 Ctm. dick und deren eine Oberfläche 1 Grad wärmer als die andere ist, pflanzen

1) Pogg. Ann. Bd. 129, S. 26.

2) Sitzungsber. der K. Akad. d. Wissensch. zu Wien 1873. (Pogg. Ann. Bd. 150.)

sich, auf jedes Quadratcentimeter der Oberfläche, nach Neumann 66,47 Wärmeeinheiten in der Minute, also 1,108 Wärmeeinheit in der Secunde fort. Nach Wiedemann's Bestimmung des relativen Leitungsvermögen der Metalle gehen also, wenn die Wand aus Platin besteht, 0,126 Wärmeeinheit in der Secunde von der einen Oberfläche zu der anderen über.

Mit Benutzung dieser Angaben ist es leicht zu berechnen, wie viel die Temperatur in der Axe des Drahtes höher als am Umkreise war. Weil die Verlängerung und folglich auch die Temperatur des Drahtes, während des Durchganges des Stromes, constant waren, so muß die Wärmemenge, die der Strom in einer Secunde entwickelte, derjenigen Wärmemenge, die der Draht durch Ausstrahlung und Berührung mit der umgebenden Luft in derselben Zeit verlor, gleich seyn. Der Strom entwickelte also in dem ganzen Drahte während einer Secunde 0,648 einer Wärmeeinheit. Wenn wir nun den Halbmesser des Drahtes r_0 nennen, und mit r den Halbmesser eines concentrischen Cylinders innerhalb des Drahtes bezeichnen, so ist es selbstverständlich, daß die Wärmemenge, die in diesem Cylinder während einer Secunde entwickelt wird, gleich $0,648 \frac{r^2}{r_0^2}$ der Wärmeeinheit seyn muß. Die Oberfläche dieses Cylinders ist gleich $118,4 \times 2\pi r = 743,93 r$ Quadratcentimeter. Weil die Temperatur des Drahtes constant bleibt, so muß die Wärmemenge $0,648 \frac{r^2}{r_0^2}$ in der Secunde durch diese Oberfläche fortgehen. Wenn dt und dr die Differentiale der Temperatur und des Halbmessers bedeuten, und das absolute Leitungsvermögen des Platins, wie oben gezeigt wurde, zu 0,126 angenommen wird, so hat man folglich:

$$- 743,93 r \times 0,126 \frac{dt}{dr} = 0,648 \frac{r^2}{r_0^2};$$

oder

$$- dt = 0,0069 \frac{r dr}{r_0^2};$$

woraus man durch Integration erhält

$$-t = 0,00345 \frac{r^2}{r_0} + C.$$

Das negative Vorzeichen kommt daher, daß die Temperatur mit dem Zuwachs des Halbmessers abnimmt.

Wenn in dieser Gleichung r gleich Null gesetzt, und die Temperatur in der Axe mit t_0 bezeichnet wird, so erhält man hieraus $C = -t_0$. Setzt man nun r gleich r_0 und bezeichnet die Temperatur am Umkreise mit t_1 , so bekommt man schliesslich:

$$t_0 - t_1 = 0,00345 \text{ eines Grades.}$$

Der fragliche Temperaturunterschied beträgt also nur einige Tausendstel eines Grades.

Die galvanische Ausdehnung bei den Versuchen 4a und b wurde einer Wärmeausdehnung von 6° gleich gefunden. Man sieht also hieraus, daß der unbedeutende Temperaturunterschied zwischen der Axe und dem Umkreise des Platindrahtes ohne allen Einfluß auf die Genauigkeit der Versuche war. Auf dieselbe Weise verhält es sich mit den anderen Metalldrähten, die bei den Versuchen benutzt wurden. Der Eisendraht No. 1 hatte einen Durchmesser von 0,0339 Centimeter und dieselbe Länge wie der Platindraht. Die größte Erhitzung, welcher dieser Draht angesetzt war, stieg bis zu $82^\circ,3$ über die der umgebenden Luft hinaus. Er dehnte sich dabei 222,95 Scalentheile aus, und als der galvanische Strom geöffnet wurde, zog er sich, während 0,36 einer Secunde, 11,1 Scalentheile zusammen. Nimmt man an, daß das specifische Gewicht des Eisens 7,8 und dessen Wärmecapacität 0,1138 ist, so folgt hieraus, daß der Eisendraht bei der genannten Temperatur in jeder Secunde 1,49 Wärmeeinheit verlor. Das absolute Leitungsvermögen des Eisens auf dieselbe Weise wie für das Platin berechnet, macht 0,179 einer Wärmeeinheit in der Secunde aus. Hieraus erhält man auf die schon angegebene Weise, daß die Temperatur in der Axe des Eisendrahts nicht 0,0039 eines Grades höher als in dem Umkreise seyn konnte.

W
Grad
Beme
hinrei
wand
einzel
auf d
in da
rasch
schiel
daß
weich
0,061
selber
der S
Cubil
kleine
brach
und
des V
seyn
der g
Wir
in ein
unser
Wär
in ein
das
dem
Bere
nur
seyn
unter
schm
mete
vanis
diese

Wir wollen nun zu bestimmen suchen, in welchem Grade Hr. Streintz' Untersuchung von der genannten Bemerkung getroffen werde, und es wird für diesen Zweck hinreichend seyn die Berechnung nur für einen der angewandten Drähte auszuführen. Die Drähte wurden an einzelnen Stellen mit einer äußerst dünnen Stearinschicht auf die Weise überzogen, daß man einen Papierlappen in das geschmolzene Stearin tauchte und mit demselben rasch über den Draht hinwegfuhr. Obgleich die Stearinschicht äußerst dünn war, wollen wir doch annehmen, daß die Dicke derselben $\frac{1}{4}$ Millimeter betrug. Einer der weichen Eisendrähte war 53,5 Centimeter lang und hatte 0,0617 Centimeter im Durchmesser. Die Oberfläche desselben betrug also 10,37 Quadratcentimeter. Das Volumen der Stearinmasse wird nach dieser Berechnung 0,259 eines Cubikcentimeters; dasselbe war aber ohne Zweifel viel kleiner, weil das Stearin nur an einzelnen Stellen angebracht war. Nimmt man an, daß das specifische Gewicht und die latente Schmelzwärme des Stearins denjenigen des Wassers gleich sind, welche annäherungsweise richtig seyn dürfte, so werden für die vollständige Schmelzung der ganzen Stearinmasse 20,7 Warmeeinheiten erforderlich. Wir wollen nun annehmen, daß die ganze Stearinmasse in einer Secunde geschmolzen werde, eine Annahme die für unsere Beweisführung sehr unvortheilhaft ist. Dieselbe Wärmemenge 20,7 muß dann im Drahte von dem Strome in einer Secunde entwickelt werden. Nimmt man an, daß das absolute Leitungsvermögen des Eisendrahtes gleich dem des von mir benutzten Eisendrahtes war, so zeigt die Berechnung, daß die Temperatur in der Axe des Drahtes nur 0,172 eines Grades höher als an dessen Umkreise seyn konnte. In der That war gewiß der Temperaturunterschied noch geringer, weil die in einer Secunde geschmolzene Stearinmasse nicht so viel wie 0,259 Cubikmeter betragen konnte. Hr. Streintz fand, daß die galvanische Ausdehnung dieses Drahtes so groß war, daß dieselbe 27 Proc. von der beobachteten Wärmeleitung be-

trug. Der Umstand, daß die Temperatur der centralen Theile des Drahtes beim Schmelzen des Stearins einen Bruchtheil eines Grades höher als die des Umkreises war, konnte also keinen schädlichen Einfluß auf die Genauigkeit der angestellten Versuche ausüben.

In der zweiten Bemerkung wird die Aufmerksamkeit darauf hingeletet, daß um die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur experimentell zu bestimmen, der Draht auf Glasstäbchen aufgewickelt und also gebogen wurde, daß aber diese Bestimmung benutzt wurde um die Temperatur des Drahtes zu berechnen, während derselbe gerade ausgespannt war. Es wäre nämlich ja möglich, daß der Widerstand des Drahtes sich beim Umbiegen verändere. Aus den im Versuch 4 für den Eisendraht mitgetheilten Zahlenwerthen läßt sich berechnen, daß man, um die galvanische Ausdehnung auf diese Weise erklären zu können, annehmen müßte, daß der Widerstand des Drahtes sich beim Umwickeln auf die Glasstäbchen um beinahe drei Procent verringerte. Nun ist es aber deutlich, daß der Widerstand sich nur an den Stellen, wo der Draht umgebogen, wo er in Berührung mit den Glasstäbchen war, verändern konnte, weil die Theile des Drahtes, die sich zwischen den Glasstäbchen befanden, gerade ausgespannt waren. Die gebogenen Theile des Drahtes nahmen ungefähr ein Zehntel der ganzen Länge desselben ein. Wenn folglich die gemachte Bemerkung eine wirkliche Bedeutung für die Gültigkeit meiner Versuche hätte, so müßte ein Leitungsdraht dadurch, daß er auf einen Cylinder gewickelt wurde, so daß er in allen Punkten gleich viel gekrümmt wäre, seinen Widerstand um 25 bis 30 Proc. vermindern; eine solche Veränderung in dem Widerstande findet aber, wie allgemein bekannt ist, keineswegs statt. Wenn auch der Widerstand sich so bedeutend beim Umbiegen veränderte — was nun allerdings nicht der Fall ist — so würde dieses natürlich nur auf diejenigen meiner Versuche einwirken, welche nach der ersten Beobachtungsmethode angestellt sind. Bei den

zwei a
des V
werden
suche
keit b

W
man n
Metall
die au
verwei
wodur
wurde

Au
Wied
tung f
und d
nung

Die

Eigens
Strom
nach
Wärm
fraglic
ihre w
gezoge
entstel
eine S
die El
der S
Die g
dingt
ihre le
der D
dafür
die v
heißt,

1) Po

zwei anderen Methoden brauchte nicht die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur untersucht zu werden, und die nach diesen Methoden angestellten Versuche würden also auch in diesem Falle ihre volle Gültigkeit behalten.

Was schliesslich die dritte Bemerkung des Hrn. Wiedemann betrifft, nämlich dass wegen der Erhitzung der Metalldrähte thermoelektrische Ströme entstanden wären, die auf das Magnetometer hätten einwirken können, so verweise ich auf die Abhandlung, welche die Maafsregeln, wodurch die schädliche Wirkung dieser Ströme vermieden wurde, deutlich angiebt.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass die von Hrn. Wiedemann vorgebrachten Bemerkungen keine Bedeutung für die Genauigkeit der angestellten Versuche haben, und dass folglich die Existenz der galvanischen Ausdehnung vollständig bewiesen ist.

Die galvanische Ausdehnung hat die merkwürdige Eigenschaft, dass sie mit dem Aufhören des galvanischen Stromes nicht augenblicklich verschwindet, sondern etwa nach demselben Gesetze wie die Ausdehnung durch die Wärme allmählich abnimmt. Diese Eigenschaft ist für die fragliche Ausdehnung sehr bezeichnend und deutet auf ihre wahre Natur hin. Ich habe schon daraus den Schluss gezogen, dass die betreffende Ausdehnung nicht dadurch entstehen kann, dass der Strom den Draht durch irgend eine Streckung verlängert; denn in diesem Falle müsste die Elasticität diese Streckung in dem Augenblicke, wo der Strom unterbrochen wird, zum Aufhören bringen. Die galvanische Ausdehnung muss von Oscillationen bedingt seyn, welche in dem Maasse verschwinden, wie sie ihre lebendige Kraft der Materie und dem Aether, wovon der Draht umgeben ist, mittheilen¹⁾. Ohne die Gründe dafür näher anzugeben, nimmt Hr. Streintz an, dass die vom Strome verursachte Wärme polarisirt sey, das heisst, dass die Oscillationen hauptsächlich in der Richtung

1) Pogg. Ann. Bd. 129, S. 42.

des Stromes stattfinden. Eine solche Annahme ist einfach und vermag die ganze Erscheinung naturgemäfs zu erklären. Die Temperatur eines Körpers wird bestimmt durch die lebendige Kraft, die die Molecüle des Körpers und die des im Körper eingeschlossenen Aethers besitzen. Wenn die Temperatur von t_0 bis t steigt, so vergrößert sich diese lebendige Kraft, und wenn der Temperaturzuschufs $t - t_0$ nicht zu grofs ist, so verbleiben die Oscillationszeiten unverändert, während die Oscillationsamplituden vergrößert werden. Gleichzeitig dehnt sich auch der Körper aus. Die Ausdehnung des Körpers wächst also mit der Gröfse der Amplituden. Dieser Zuwachs in der Ausdehnung mufs doch hauptsächlich in der Richtung, in welcher die Oscillationen vor sich gehen, stattfinden. Wenn die Oscillationen nach allen Richtungen geschehen, so mufs auch der Körper nach allen Seiten hin gleich viel ausgedehnt werden, insofern er homogen und amorph ist. Wenn dagegen die Oscillationen hauptsächlich in einer bestimmten Richtung stattfinden, so mufs auch die grösste Ausdehnung des Körpers in derselben Richtung fallen. Wenn deshwegen ein Körper bei zwei verschiedenen Gelegenheiten einen gleichen Temperaturzuschufs $t - t_0$ erhält, und wenn bei der einen dieser Gelegenheiten die Oscillationsamplituden in allen möglichen Richtungen wachsen, bei der anderen aber nur in einer bestimmten Richtung, so mufs im letzteren Falle der Körper in dieser Richtung mehr, in den anderen aber weniger als im ersten Falle zunehmen. Wenn also der Draht wegen des Durchganges des Stromes einen Temperaturzuschufs erhält, und dabei die Oscillationsamplituden ausschließlic oder wenigstens hauptsächlich nach der Länge des Drahtes vergrößert werden, so mufs die Verlängerung des Drahtes gröfser, dessen Zuwachs in der Dicke aber kleiner werden, als für einen eben so grofsen Temperaturzuschufs, bei welchem der Zuwachs der Oscillationsamplituden gleich grofs in allen Richtungen ist. Dafs die galvanische Ausdehnung langsam und nach demselben Gesetze wie die

Wärme
diese
richtig
nehmen
dürfte
zu bew
auch k
lationen
durch e
Wärme
prüfen.

We
translat
genrich
selbst,
mögen
dem Str
richtung
die von
Grunde
der gal
der Vor
nischen

Wie
Hr. St
Ausdeh
Wärme
durch
umgebe
werden
folglich
Exner
telle V
dafs de
gleichze
vanische

1) Théor

Wärmeausdehnung verschwinden muß, versteht sich auf diese Weise von selbst. Wenn diese Erklärungsweise richtig ist, so muß die Dicke des Drahtes weniger zunehmen als wie dem Temperaturzuschusse entspricht; es dürfte jedoch vielleicht unmöglich seyn dieses experimentell zu beweisen. Die vom Drahte ausgestrahlte Wärme giebt auch keine Kenntniß von der Richtung der Wärmeoscillationen innerhalb des Drahtes. Man kann deßwegen nicht durch eine Untersuchung über die vom Drahte ausgestrahlte Wärme die Richtigkeit dieser hypothetischen Erklärung prüfen.

Wenn man annimmt, daß der galvanische Strom in translatorischer Bewegung einer Flüssigkeit nach der Längsrichtung des Drahtes besteht, so folgt es beinahe von selbst, daß die Oscillationen, in welche die Molecüle, diese mögen nun dem Körper oder dem Aether angehören, von dem Strome versetzt werden, hauptsächlich in der Längsrichtung des Drahtes stattfinden müssen. Die Wärme, die von dem Strome hervorgerufen wird, muß aus diesem Grunde polarisirt werden. Die hier gegebene Erklärung der galvanischen Ausdehnung findet also eine Stütze in der Vorstellung, die wir uns von der Natur des galvanischen Stromes gebildet haben ¹⁾.

Wie oben angeführt wurde, haben, sowohl ich wie Hr. Streintz, aus dem Umstande, daß die galvanische Ausdehnung ungefähr nach demselben Gesetze wie die Wärme verschwindet, den Schluß gezogen, daß dieselbe durch die molecularen Oscillationen, welche sich dem umgebenden Medium allmählich mittheilen, verursacht werden mußte. Alles was diese Mittheilung befördert, muß folglich die galvanische Ausdehnung vermindern. Hr. Dr. Exner hat neulich die Schlußfolgerung durch experimentelle Versuche bestätigt. Er verfuhr dabei auf die Weise, daß der Leitungsdraht, durch welchen der Strom lief, gleichzeitig in kaltem Wasser abgekühlt wurde. Die galvanische Ausdehnung schwand dadurch so vollständig,

1) *Théorie des phénomènes électriques*, p. 9.

dafs kaum eine Spur davon zurückblieb. Dafs das Resultat dieser Versuche so ausfallen mußte, war nach dem oben Gesagten selbstverständlich. Irgend einen Beweis gegen die wirkliche Existenz der galvanischen Ausdehnung, wie Hr. Exner¹⁾ es zu glauben scheint, liefern aber seine Versuche nicht.

**IX. Beziehung zwischen dem mechanischen Wärmeäquivalent und den Moleculargewichten;
von Klingel.**

Die Gesetze für die Gase von Mariotte und Gay-Lussac werden bekanntlich durch die Formel

$$\frac{p}{\gamma} = R \left(\frac{1}{\alpha} + t \right)$$

ausgedrückt, in welcher p der Druck des betreffenden Gases in Kilogramm auf das Quadratmeter, γ das Gewicht eines Kubikmeters des Gases, t die Temperatur desselben vom Eispunkte aus gerechnet, α der Ausdehnungscoëfficient und R eine Constante ist, welche für jedes Gas einen besonderen Werth hat. Letztere wird aus dem Zustand des Gases bei 0° und 760^{mm} Barometerdruck nach der Formel

$$R = \frac{p_0 \alpha}{\gamma_0}$$

berechnet, worin $p_0 = 10334$ Kilogramm ist und α den Mittelwerth 0,003665 hat.

Für die folgenden Gase z. B. wurden die beigesetzten Werthe gefunden:

1) Pogg. Ann. Ergänzungsbd. VII, S. 431.

für Wasserstoff	$R = 422,612$
„ Stickstoff	„ = 30,134
„ Sauerstoff	„ = 26,475
„ Chlor	„ = 11,941
„ Kohlensäure	„ = 19,143
„ Schwefelwasserstoff „	= 24,612.

Der fast gleiche Werth von R für Wasserstoff mit dem mechanischen Wärmeäquivalent $E = 424$ Kilogrammometer mußte sofort auffallen, wurde aber bis zum Beweis des Gegentheils als Zufall betrachtet.

Diesen Beweis des Gegentheils zu liefern, d. h. den Zusammenhang des mechanischen Wärmeäquivalents mit den Werthen von R für alle Gase nachzuweisen, ist der Zweck der nachfolgenden Zeilen.

Wenn man einen solchen Zusammenhang voraussetzt, so ist das Nächstliegende die Annahme, daß man allgemein

$$xR = 422,612$$

setzt. Daraus ergibt sich

$$x = \frac{422,612}{R}$$

und wenn man mit den angeführten Werthen von R dividirt, so ergeben sich folgende Quotienten:

für H	$x = 1$
„ N	„ = 14,025
„ O	„ = 15,963
„ Cl	„ = 35,391
„ CO ₂	„ = 22,077
„ SH ₂	„ = 17,171,

aus denen auf den ersten Blick ersichtlich ist, daß sie mit den Atomgewichten, bzw. mit den halben Moleculargewichten der Stoffe fast genau übereinstimmen.

Auch für eine Reihe anderer Gase lieferte die Rechnung gleich gute Ergebnisse.

Es ist demnach, wenn q das Moleculargewicht bedeutet, $x = \frac{q}{2}$ und

$$\frac{qR}{2} = E \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Das Product aus dem halben Moleculargewicht und der Constanten R der Mariotte-Gay-Lussac'schen Formel ist gleich dem mechanischen Wärmeaequivalent.

Bemerkt muß dazu werden, daß die letztere Gleichung ebenso, wie das Mariotte'sche Gesetz nur für vollkommene Gase volle Geltung hat.

Von den Folgerungen, welche aus der Gleichung (1) gezogen werden können, seyen hier kurz folgende erwähnt.

Substituirt man in die Gleichung (1) den Werth von R , so erhält man:

$$\frac{q \alpha p_0}{2 \gamma_0} = E \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und daraus

$$\gamma_0 = \frac{q \alpha p_0}{2E}.$$

Aus dieser Gleichung kann für jeden Stoff aus dem Moleculargewicht seine Gasdichte berechnet werden, auch wenn derselbe in gasförmigem Zustand wenig oder gar nicht bekannt ist.

In Gl. (2) ist ferner $\frac{q}{\gamma_0}$ das Molecular-Volumen, welches für alle Gase nahezu den gleichen Werth hat. Das Product des halben Molecular-Volumens mit dem Ausdehnungscoëfficient α stellt aber den Weg dar, den der Druck p_0 zurücklegt. Die linke Seite der Gl. (2) stellt daher eine Arbeit dar, gleich wie das mechanische Wärmeaequivalent.

Drückt man endlich durch C_p und C_v die Wärmecapacitäten eines Gases bei constantem Druck und constantem Volumen aus, so besteht bekanntlich die Gleichung

$$E = \frac{R}{C_p - C_v}.$$

und wenn man statt E seinen Werth aus Gl. (1) einsetzt, so ergibt sich

$$q = \frac{2}{c_p - c_v}.$$

Die Zahl 2 dividirt durch die Differenz der Wärmecapacität giebt daher das Moleculargewicht.

Karlsruhe den 26. April 1876.

X. Ueber irreciproke Leitung elektrischer Ströme¹⁾; von Dr. Arthur Christiani in Berlin.

Taucht man die Elektroden eines stromführenden Kreises in irgend eine elektrolytische Flüssigkeit, ist also der Schließungsbogen kein reinmetallischer, sondern ein „gemischter“, und sind gleichzeitig die benetzten Flächen der beiden Elektroden von verschiedener Gröfse oder Dignität („dysodisch“), so fällt, unter sonst gleichen Umständen, die Stromleitung verschieden aus je nach der Stromesrichtung.

- 1) Kurze Mittheilung aus einer vor einiger Zeit unter gleichem Titel erschienenen Monographie (Berlin 1876 bei R. Friedländer u. Sohn 174 Seiten und XV Tafeln). Die Schrift enthält in ihrem zweiten Theile eine apriorische Darstellung der irreciproken Leitungerscheinungen auf Grund einer mechanischen Theorie der Elektricitätsbewegung in nichtmetallischen Leitern. In ihrem ersten Theile bespricht sie unter Anderem auch noch die Aenderung des Potentials zweier conaxialen, cylindrischen Spiralen mit dem Abstände derselben von einander, sowie gewisse (namentlich durch den Magnetismus der Lage hervorgerufene) „Pseudoirreciprocitäten“, welche sich bei der Messung von Inductionsschlägen bemerkbar machen. — Die Untersuchungen wurden vom Mai bis December 1874 im physiologischen Laboratorium des Hrn. Geheimrath E. du Bois-Reymond zu Berlin ausgeführt.

Benutzt man zur Hindurchschickung durch die dysodische Combination Ströme momentaner Dauer (einzelne Inductionsschläge), so zeigt sich, daß der Unterschied der (absolut genommenen) Zeitintegrale der nach beiden Richtungen hin gemessenen Ströme oder die „Irreciprocität“, Function der Potentialdifferenz an den Elektroden ist. — Wird weiter nichts, als die elektromotorische Kraft, im Kreise variirt, so erscheint die Irreciprocität als Function der elektromotorischen Kraft und zwar so, daß für größere Kraftwerthe ein von der „Platte“ nach der „Spitze“ gerichteter, für kleinere Werthe ein entgegengesetzt verlaufender Strom größere Gesamttintensität zeigt. Für eine bestimmte dysodische Combination findet dann nur bei einem einzigen, ganz bestimmten Werthe der elektromotorischen Kraft „reciproke Leitung“ statt. Man darf also sagen:

Im Verlaufe einer zwischen hinreichend distanten Grenzen ausgeführten, continuirlichen Variation der elektromotorischen Kraft wechselt die Irreciprocität einmal ihr Zeichen, indem sie durch Null geht.

Bei Anwendung verschiedener Lösungen läßt unter Vergleichung gestattenden Umständen die „reciproke Leitung in dysodischen Combinationen“ eine gewisse Beziehung zum Moleculargewichte des in der Lösung befindlichen chemischen Individuums erkennen: *der Widerstand im Elektrolyten während der reciproken Leitung ist eine dem Moleculargewichte (nahezu) proportionale Größe.* Bei einigen dysodischen Combinationen erschließt sich die Irreciprocität aus gewissen optisch wahrnehmbaren, den Stromdurchgang begleitenden Erscheinungen unmittelbar.

XI. Ueber die Vergleichung von Pigmentfarben mit Spectralfarben; von Wilhelm von Bezold.

(Aus den Münchener Sitzungsberichten vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Nach dem Gesetze der Farbenmischung, wie es zuerst von Newton aufgestellt, und später durch die Untersuchungen von Graßmann, Helmholtz und Maxwell als richtig erwiesen wurde, läßt sich jede Farbenempfindung, deren wir fähig sind, durch Mischung der Spectralfarbe mit Weiß hervorrufen. Ausgenommen sind hievon nur die sogenannten Purpurtöne, für welche zwei Spectralfarben, nämlich Roth und Blau erforderlich sind und außerdem allenfalls noch mehr oder weniger Weiß. Von diesen Tönen soll im Folgenden abgesehen werden.

Unter Berücksichtigung der eben gemachten Beschränkung genügt demnach zur vollständigen Bestimmung irgend einer Farbe die Kenntniß dreier Stücke: des *Farbentones*, der *Reinheit*¹⁾ und der *Helligkeit*, d. h. man muß vor Allem jene Spectralfarbe kennen, durch deren Mischung mit Weiß sich die betreffende Farbe herstellen läßt, dann das Verhältniß, nach welchem diese Mischung vorgenommen werden muß, und endlich die Helligkeit der Mischfarbe oder einer ihrer Componenten nach irgend einem fest bestimmten Maasse.

Wäre man im Stande, diese einzelnen hier genannten Größen mit Schärfe zu bestimmen, so könnte man auch die Farbe eines Pigmentes durch drei Zahlen vollständig charakterisiren. Ein Versuch eine solche Bestimmung wirklich auszuführen, ist meines Wissens noch niemals gemacht worden. Zwar hat Maxwell zwischen verschiedenen Pigmenten Farbengleichungen hergestellt, aber er beschränkte sich hierauf, ohne eine Reduction auf die prismatischen Farben vorzunehmen. Chevreul dagegen,

1) Vgl. Pogg. Ann. Bd. CL., S. 77 und 78.

dessen „*Exposé d'un moyen de définir et nommer les couleurs*“ den ganzen 33. Band der Memoiren der Pariser Akademie einnimmt, liefs bei dieser umfangreichen und mühsamen Arbeit das Gesetz der Farbenmischung so sehr aufer Acht und räumte dem blofsen Gefühle einen solchen Spielraum ein, dafs man diesem Werke zwar eine gewisse practische Bedeutung nicht absprechen, aber kaum einen hohen wissenschaftlichen Werth beilegen kann. Auch die Vergleichung der Farben einiger gefärbten Körper mit Stellen des Spectrums, welche er im Vereine mit E. Becquerel ausführte und von Letzterem a. a. O. auf S. 46 bis 48 beschrieben ist, flöfst wegen der dabei angewendeten Methode nur mäsfiges Vertrauen ein. Aber selbst wenn diese wenigen Bestimmungen vollkommen gelungen seyn sollten, so wäre die Methode doch jedenfalls viel zu umständlich, um eine häufigere Anwendung zu gestatten. Bei Pigmenten von geringerer Helligkeit oder Reinheit müfste sie überdiess erst wesentlich modificirt werden.

Im Folgenden sollen nun zwei Methoden beschrieben werden, vermittelst deren man wenigstens eins dieser Elemente, und zwar das interessante, den Farbenton, auf einfache Weise und mit geringer Mühe ermitteln kann.

Diese Methoden schliessen sich eng einem Vorschlage an, der, wenn ich nicht irre, von Vierordt gemacht wurde, um Mischungen von Pigment- und Spectralfarben hervorzubringen.

Der genannte Vorschlag bestand darin, die Scale im Scalenfernrohre eines gewöhnlichen Spectralapparates durch eine passend erleuchtete farbige Fläche zu ersetzen; dann mufs das Spiegelbild dieser Fläche sich über das Spectrum lagern, so dafs der Beobachter eine Mischung der von dem Pigmente zurückgeworfenen und der Spectralfarben erblickt.

Auf ganz ähnliche Weise kann man nun ein Spiegelbild einer bemalten Fläche *neben* ein Spectrum legen und so die beiden mit einander vergleichen.

N
ordnu
E
zum
schar
Senk
Theil
Breit
Tren
mögl
im C
von
I
Bren
entfe
lichts
geno
die
ganz
vers
eine
sich
man
der
Sch
im
son
obe
unt
mit
Car
Col
als
ter
un
Ge

Nach mehreren Versuchen fand ich die folgende Anordnung am zweckmässigsten:

Ein weißer Carton von möglichst feinem Korne wurde zum Theile mit schwarzem Papier beklebt, so daß eine scharfe horizontale Trennungslinie die beiden Hälften scheidet. Senkrecht auf diese Trennungslinie ist in den schwarzen Theil eine Spalte eingeschnitten von etwa einem Millimeter Breite oder weniger; diese Spalte reicht genau bis zu der Trennungslinie der beiden Hälften. Damit dieser Schlitz möglichst scharfe Ränder erhalte, ist es zweckmässig, ihn im Carton etwas breiter zu lassen, so daß die Ränder nur von dem schwarzen Papiere gebildet werden.

Diesen so vorgerichteten Carton bringt man nun in die Brennebene des Scalenfernrohres, von dem man die Scale entfernt hat und das bewegliche Rohrstück entweder möglichst weit hineingeschoben, oder allenfalls auch hinweggenommen hat. Die horizontale Trennungslinie muß durch die Axe des Rohres senkrecht geschnitten werden und der ganze Carton in seiner eigenen Ebene leicht horizontal verschiebbar seyn, was sich durch Aufkleben desselben auf einen Holzklotz ohne Schwierigkeit erreichen läßt. Befindet sich der weiße Theil oberhalb der Fernrohraxe, so erblickt man im Beobachtungsfernrohre unten das Spiegelbild der weißen Fläche, oben dicht daranstoßend das des Schlitzes.

Hat man nun gleichzeitig die untere Hälfte des Spaltes im Collimatorfernrohre mit einem Blättchen Stanniol oder sonst einem undurchsichtigen Körper bedeckt, während die obere frei gelassen wurde, so sieht man zugleich in der unteren Hälfte des Gesichtsfeldes das Spectrum gemischt mit Weiß. Durch geeignetes Beschatten des weißen Cartons sowie durch passende Wahl der Spaltbreite (im Collimator) kann man sowohl die Helligkeit des Spectrums als auch des weißen Spiegelbildes innerhalb ziemlich weiter Gränzen beliebig verändern, und hat so die Reinheit und Helligkeit des unten erscheinenden Spectrums in seiner Gewalt.

Stellt man nun in einiger Entfernung hinter dem Schlitz im Carton die zu untersuchende farbige Fläche auf, so erblickt man den Schlitz in der betreffenden Farbe. Durch Verschieben des Cartons kann man alsdann das Bild des Schlitzes dicht über die Farbe im Spectrum bringen, welche ihm am nächsten steht und endlich durch allmähliche Aenderung in der Helligkeit und Reinheit des letzteren vollständige Uebereinstimmung herbeiführen.

Hiebei ist es wesentlich, daß der Carton ein sehr feines Korn habe, weil sonst das über das Spectrum gelagerte Bild desselben dem Spectrum ein fremdartiges Ansehen giebt, während das von der farbigen Fläche herrührende Licht dadurch, daß kein deutliches Bild dieser Fläche, sondern nur ein solches des Schlitzes entsteht, jene eigenthümliche Durchsichtigkeit besitzt, wie man sie sonst an Körperfarben vergeblich sucht.

Diese Resultate, welche man auf die Weise erhalten hat, lassen sich nun noch mit Hülfe einer zweiten Methode controliren, die noch rascher zum Ziele führt, aber vielleicht weniger frei von Einwüfen ist.

Diese Methode ist die folgende:

Man ersetzt die Scale im Scalenfernrohre durch eine undurchsichtige Platte (im Nothfalle nur aus Stanniol), die mit einem, die Mitte überschreitenden, verticalen Schlitz versehen ist, während die Spalte im Collimator, wie beim vorigen Versuche zur Hälfte bedeckt bleibt.

Bringt man nun vor dem Schlitz am Scalenfernrohre die farbige Fläche an, so erblickt man das Bild des Schlitzes im dunklen Theile des Gesichtsfeldes in dieser Farbe. Die andere Hälfte des Bildes lagert sich über das in der unteren Hälfte sichtbare Spectrum und erscheint demnach dort in der aus der Pigmentfarbe und einer Spectralfarbe gebildeten Mischfarbe. Diese Mischfarbe neigt sich nun der brechbareren Seite zu, wenn die Spectralfarbe, auf welche das Bild des Schlitzes fällt, brechbarer ist als die dem Pigmente entsprechende, während das umgekehrte

eintr
man d
Bild
führen
das U
besitz
Pigme
D
habe
entsp
Scalen
Spect
mit d
bläuli
O
Resul
Versu
trums
nicht
seyn.
D
verwe
tige i

Die
raus
Wass
noch
kolls
1) B

eintritt, wenn die Spectralfarbe weniger brechbar ist. Da man durch eine kleine Bewegung des Scalenfernrohres das Bild des Schlitzes leicht über das ganze Spectrum hinwegführen kann, so ist es unschwer jene Stelle zu finden, wo das Umspringen der Mischfarbe statt hat und diese Stelle besitzt offenbar denselben Farbenton, wie die betreffende Pigmentfarbe.

Die Reaction ist äußerst empfindlich. Gesetzt z. B. man habe ein grünes Pigment vor sich, wie es der Linie *E* entspricht, so genügt die allergeringste Verschiebung des Scalenfernrohres nach rechts oder links, um den auf das Spectrum fallenden Theil des Schlitzbildes im Vergleiche mit dem andern Theile das einmal gelblich das anderemal bläulich erscheinen zu lassen.

Ob die beiden Methoden ganz genau übereinstimmende Resultate liefern, dieß kann natürlich erst nach eingehenden Versuchen entschieden werden. Für jene Theile des Spectrums, in welchem sich die Fluorescenz der Netzhaut nicht merkbar macht, glaube ich dessen bereits sicher zu seyn.

Die hier mitgetheilten Methoden sollen zunächst dazu verwendet werden, die Grundlagen für eine wirklich richtige in Pigmentfarben ausgeführte Farbentafel zu liefern.

XII. *Nachträgliche Berichtigung;* *von O. Grotrian.*

Die kürzlich erschienene Abhandlung von F. Kohlrausch, „Ueber das elektrische Leitungsvermögen des Wassers und der Säuren“)“ veranlaßte mich zu einer nochmaligen Durchsicht meines alten Beobachtungsprotokolls, welches die von mir früher veröffentlichten Zahlen

1) Berichte der Münchener Akademie. Math. phys. Klasse. 1875, S. 284.

für Salzsäure ¹⁾ enthält. Die von Kohlrausch für diese Säure gefundenen Werthe weichen nämlich von den meinen in einer Weise ab, die auf einen constanten Fehler in den specifischen Gewichten schliefsen liefs. In der That hat sich ein solcher herausgestellt. Die specifischen Gewichte der untersuchten Salzsäuren wurden von mir zunächst näherungsweise mit dem Aräometer und später genauer mit der Mohr'schen Waage bestimmt. Erstere sind nun irrthümlicher Weise statt der letzteren in meine Arbeit übergegangen.

Den dadurch entstandenen Fehler erlaube ich mir durch folgende Tabelle zu berichtigen, deren erste Columne die früher angegebenen, deren zweite dagegen die richtigen specifischen Gewichte enthält.

1,030	1,0191
1,0425	1,0328
1,089	1,0777
1,111	1,1026
1,1395	1,1308
1,151	1,1415.

In Tabelle VI, S. 390 meiner Abhandlung sind demnach die Zahlen der ersten Columne um etwa 0,01 zu vermindern. Eine genaue Umrechnung der Interpolationstabelle habe ich unterlassen, da meine Zahlen für das Leitungsvermögen mit einem wenn auch nur wenige Procente betragenden Fehler behaftet sind in Folge der nicht gänzlich vermiedenen Polarisation, während die von Kohlrausch veröffentlichten Beobachtungen unter ganzlichem Ausschluss dieser Fehlerquelle angestellt sind.

1) Pogg. Ann. Bd. 151, S. 378.

Darmstadt, April 1876.

XIII.
Zeitr
de

(Aus d.

Der
achtung
kanntli
gungsz
zwei I
cunde
1000 m
Mittell
wissen
wichts
del I,
einen
entfern
maafs
1000 S
richtun
zeitige
linie g
Pendel
leicht
Appar
Es sey
niger
beim I
ausgel
am Pe

**XIII. Einfacher Apparat zur Messung sehr kleiner Zeiträume mit Anwendung auf die Bestimmung der Fallzeit eines frei fallenden Körpers;
von Dr. Eb. Gieseler in Bonn.**

(Aus d. Bericht. d. niederrhein. Ges. f. Natur- und Heilkunde in Bonn vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

1. Idee des Apparates.

Der Apparat gründet sich auf die Methode der Beobachtung von Coincidenzen schwingender Pendel, die bekanntlich von Borda zuerst zur Vergleichung der Schwingungszeiten zweier Pendel benutzt wurde. — Von den zwei Pendeln des Apparats möge das eine in jeder Secunde seine Gleichgewichtslage einmal, also in 1000 Sec. 1000mal passiren, während das zweite in 1000 Sec. die Mittellinie 1001mal durchläuft. Treffen nun in einem gewissen Momente beide Pendel gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage, so wird beim nächsten Durchgange von Pendel I, also nach einer Secunde, das Pendel II schon um einen Weg, der $\frac{1}{1000}$ Sec. entspricht, von seiner Mittellinie entfernt seyn, nach 2 Sec. würde der Abstand in Zeitmaafs 0,002 Sec. betragen u. s. f. bis die Pendel nach 1000 Sec. wieder zusammentreffen. Wird nun eine Einrichtung angebracht, wodurch man den Anblick des gleichzeitigen Zusammentreffens beider Pendel in der Mittellinie genau feststellen kann und wird außerdem jedes Pendel in seiner äußersten Lage nach rechts durch einen leicht auszulösenden Widerstand festgehalten, so ist der Apparat in der Idee fertig und der Gebrauch, wie folgt. Es sey zunächst die Zeitdauer eines Ereignisses von weniger als 1 Secunde Dauer zu bestimmen. Dann werde beim Beginn desselben Pendel I, beim Schluß Pendel II ausgelöst. Ferner beobachtete man die Zeit in Secunden am Pendel I bis beide Pendel in der Mittellage gleich-

zeitig eintreffen. Beträgt diese Zeit etwa 325 Secunden, so ist die Zeit des Ereignisses offenbar sehr nahe gleich dem Zeitabstande der Pendel, als Pendel I zum erstenmal die Mittellinie passirte. Genauer betrachtet liegt die Zeit zwischen 0,325 und 0,326 Sec., sie ist nämlich gleich dem Zeitabstande der Pendel bei Beginn der Bewegung von Pendel II. Dieser ist jedoch durch eine einfache Rechnung zu ermitteln und ebenso einfach die Beobachtung längerer Zeiträume, bei denen man die ganzen Secunden am Pendel I beobachten und aus der ersten Coïncidenz nach Beginn der Bewegung von II auf die Bruchtheile schließen kann.

2. Anwendung auf die Fallmaschine.

Um die vorstehende Idee durch einen einfachen Versuch zu prüfen, wurde unten an das Pendel einer Atwood'schen Fallmaschine ein umgekehrt U-förmiger Platindraht mit etwas Siegelack befestigt. Unmittelbar darunter war an das Gestell ein flaches Brettstück geschraubt mit zwei Rinnen senkrecht zur Ebene des Pendels. In die Rinnen wurde Quecksilber gegossen und die Enden des Platindrahts so gebogen, daß sie in der Gleichgewichtslage des Pendels das Quecksilber berührten, bei jeder kleinen Bewegung nach rechts oder links aber wenigstens ein Drahtende heraustrat. Der Poldraht einer galvanischen Batterie wurde nun zunächst um einen Elektromagnet geleitet, dann in das Quecksilber einer Rinne und das Quecksilber der anderen Rinne mit dem zweiten Pol der Batterie verbunden. Ließ man nun das Pendel schwingen, so war der Strom bei jedem Durchgange durch die Gleichgewichtslagen einen Augenblick geschlossen und der Anker des Elektromagnets bezeichnete den Moment durch einen lauten Schlag. Da dem Verfasser ein zweites Pendel nicht zur Verfügung stand, benutzte er statt dessen die Unruhe eines Secunden-Schlagwerks. Dieselbe passirte ihre Gleichgewichtslage pro Secunde zwei Mal und wurde dem Pendel entsprechend mit U-förmigen Draht-

und Q
Schlag
einsch
wurde
nische
des S
schen
Elektr
gewich
Um m
diesel
Draht
durch
gewich
der K
das S
haken
nach
schlie
in ein
der K
abgeb
gleich
62 M
das S
ausge
ergab
Schläg
von
Wenn
die M
Secun
der K
den b
Coïnc
nur u
g =

und Quecksilberrinnen versehen, so daß, wenn man das Schlagwerk allein in die Leitung der galvanischen Batterie einschaltete, der Anker halbe Secunden schlug. Jetzt wurde der Apparat so zusammengestellt, daß der galvanische Strom sowohl den Platindraht des Pendels als den des Schlagwerks passiren mußte, dann erfolgten in Zwischenräumen von 203 Secunden 11 bis 12 Schläge des Elektromagnets, die das gleichzeitige Passiren der Gleichgewichtslagen von Pendel und Schlagwerk hervorhoben. Um nun die Fallzeit einer Kugel zu bestimmen, wurde dieselbe an einen vorher am Pendel befestigten horizontalen Draht mittelst eines Fadens so aufgehängt, daß das Pendel durch die einseitige Belastung so viel von seiner Gleichgewichtslage abwich, wie bei einer Schwingung. Unter der Kugel stand ein 32 Ctn. hohes Tischlein und darunter das Schlagwerk. Die Unruhe des Schlagwerks hielt ein hakenförmig gebogener Draht in ihrer äußersten Lage nach links. Der senkrechte Draht wurde in einer anschließenden Oeffnung der Tischplatte geführt und endigte in einer kleinen horizontalen Platte 62 Mm. lothrecht unter der Kugel. Nun wurde der die Kugel tragende Faden abgebrannt, es setzten sich dadurch Pendel und Kugel gleichzeitig in Bewegung. Sobald die fallende Kugel 62 Mm. durchlaufen hatte, traf sie das obere Ende des das Schlagwerk hemmenden Drahtes; dadurch wurde dieses ausgelöst und fing an zu schwingen. Die Beobachtung ergab nun nach 40 Secunden am Pendel beobachtet 11 Schläge des Elektromagnets und die nächste Coincidenz von der 241. bis incl. 253. Secunde mit 12 Schlägen. Wenn man beachtet, daß das Schlagwerk doppelt so oft die Mittellinie passirt, als das Pendel und außerdem seine Secunden etwas größer sind, so läßt sich die Fallzeit der Kugel berechnen. Nimmt man dabei das Mittel aus den beobachteten Schlägen als Augenblick der wirklichen Coincidenz, so wird man finden, daß die beobachtete Zeit nur um einige Tausendtheile einer Secunde von der aus $g = 9^m,81$ berechneten abweicht. Es dürfte daraus her-

vorgehen, daß ein sorgfältig construirter Apparat dieser Art einer außerordentlichen Genauigkeit fähig ist. Verfasser würde dazu statt des Quecksilbercontacts eine Contactfeder, die eine schmale Metallplatte berührt, empfehlen und um schwache Ströme zur Schonung des Contacts anwenden zu können, statt des Elektromagnets, ein empfindliches Galvanometer in Vorschlag zu bringen.

XIV. *Nachträgliche Mittheilungen über die Bilder elektrischer Funken; von A. Peters.*

Im 11. Hefte des vorigen Jahrganges dieser Annalen (Bd. 156, Stück 3) ist gezeigt, daß die Bilder der elektrischen Funken, wie sie sich auf einer beruften, mit Schellackfirniß überzogenen Glastafel von gut isolirendem Glase darstellen, einen charakteristischen Unterschied der + und — E. deutlich hervortreten lassen, und zugleich zeigen, daß die beiden EE. sich nicht in einem Punkte, sondern auf einer größern Strecke, die in der Regel ein Drittel ihrer Bahn beträgt, vereinigen. Es ist weiter angegeben, daß sich diese Erscheinungen in gleicher Weise an den Bildern der Funken einer mit Condensatoren versehenen Holtz'schen Maschine, wie an denen von großen Funkeninductoren zeigen, so daß sich ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Arten von Funken aus ihren Bildern nicht ergibt. Wenn nun aber in den oben bezeichneten früheren Mittheilungen über diese Bilder von der Bahn der — E. einer Holtz'schen Maschine gesagt ist, daß sie sich „durch den Mangel an Auszweigungen“ charakterisire und es als eine Verschiedenheit dieser — E. von der — E. der Funkeninductoren bezeichnet wurde, daß letztere in ihren Bildern bisweilen Ausläufer von der

Hauptbahn hervorbrächte, die jedoch stets einfach seyen und höchstens eine einfache Gabeltheilung zeigten, so ist diese Angabe nach neuerdings angestellten Versuchen in etwas zu modificiren. Nachdem ich nämlich mehrere Glas- tafeln von ihrem alten Schellacküberzuge sorgfältig gerei- nigt und zweimal von neuem mit gutem Schellackfirniß überstrichen — das zweite Mal natürlich erst nachdem der erste Ueberstrich gut getrocknet war — und ich dann mittelst einer Holtz'schen Maschine Funkenbilder auf denselben erzeugte, zeigten diese in dem negativen Drit- tel ebenso wie die Funkenbilder von Inductoren Auszwei- gungen. Da eine Beschreibung, wenn sie auch noch so detaillirt ist, keine so deutliche Vorstellung von diesen Ausläufern zu geben vermag, als eine Abbildung, so habe ich die Anfänge des negativen Theils mehrerer Funken- bilder, wie sie in der oben angegebenen Weise vermit- telt der Holtz'schen Maschine hervorgebracht werden, in den Figuren 5 bis 15, Taf. III von den einfachsten bis zu den complicirteren hinauf dargestellt. Wie diese Ab- bildungen zeigen, treten die Ausläufer in der Regel in der Nähe des Aufspringepunktes auf, in Zahl und Aus- dehnung bald schwächer bald stärker und nach verschie- denen Richtungen hin. Wenn sie nicht zu klein und zu matt sind, so haben sie wie die Hauptbahn der — E. in der Mitte einen hellen Streifen und sind nach außen hin von einem hellen Saume umgeben. Vergleiche Fig. 7 bis 13. Abzweigungen von der Hauptbahn sind sehr selten. Unter Fig. 15 findet sich ein Beispiel dieser Art; es ist das ein- zige, welches ich zu beobachten Gelegenheit hatte. Eine eigenthümliche abgerundete Form zeigt Fig. 14, dieselbe wird wahrscheinlich auch sehr selten vorkommen. Ich we- nigstens habe sie auch nur ein einziges Mal gefunden.

Worin nun die eigentliche Ursache der Entstehung solcher Ausläufer besteht, das scheint sich schwer ermit- teln zu lassen. Nach meinen Versuchen muß ich dafür die größsere Isolationsfähigkeit des Schellackfirnisses an- sehen. Denn alles Uebrige war bei diesen Versuchen das-

selbe wie bei früheren, wo sich solche Ausläufer nicht zeigten. Es wurde dieselbe Maschine mit denselben Condensatoren angewandt. Ob die Luftfeuchtigkeit eine verschiedene war, vermag ich nicht anzugeben. Jedenfalls aber ist der Unterschied zwischen den Funken der Maschinenelektricität und denen der großen Inductoren durch diese Versuche auf ein noch geringeres Maafs reducirt, als ich das in meinen früheren Mittheilungen in diesen Annalen aussprach. Eine Vergleichung dieser Abbildungen mit denen im 11. Hefte des vorigen Jahrganges zeigt das deutlich.

Uebrigens bleibt der charakteristische Unterschied zwischen den Wirkungen der $+$ und $-$ E. in den Funkenbildern, so wie ich ihn früher angegeben habe, nach meinen neuen Versuchen bestehen, und auch das bleibt bestehen, daß die beiden EE. in den Funken sich nicht in einem einzigen Punkte, sondern auf einer größeren Strecke vereinigen.